

ANALISIS PENGARUH THERMAL TERHADAP CASING SUMUR RF LAPANGAN GEOTHERMAL SF-93

Rafiah Farisa, Widrajat Aboekasan, Listiana
Jurusan Teknik Perminyakan – Universitas Trisakti

Abstrak

Salah satu aspek penting pada proses pemboran panas bumi adalah pemasangan casing. Sumur panas bumi pada umumnya dibor tidak banyak berbeda dengan sumur minyak dan gas bumi. Perbedaan dari pemboran sumur panas bumi berhubungan dengan batuan formasi yang keras dan temperatur yang tinggi, sehingga operasi sumur panas bumi lebih rumit dibandingkan dengan sumur minyak dan gas bumi. Kegagalan casing pada sumur panas bumi dapat disebabkan oleh bermacam-macam faktor, baik yang dapat dikontrol maupun tidak dapat dikontrol. Adapun *design casing* di industri minyak dan gas, konsentrasi utama berada pada *metal failure* dari burst, collapse atau tension. Tetapi untuk industri panas bumi kehadiran *thermal loads* pada casing menyebabkan terjadinya ketidakstabilan di casing sehingga dilakukan perhitungan *thermal stress* dan *plastic deformation*. Metode perhitungan yang dilakukan adalah metode beban maksimum dan metode beban thermal.

Kata kunci : casing, casing design, burst, collapse, tension, thermal stress, plastic deformation

Pendahuluan

Kegagalan casing pada sumur panas bumi dapat disebabkan oleh bermacam-macam faktor, baik yang dapat dikontrol maupun tidak dapat dikontrol. Faktor yang dapat dikontrol adalah design dan cara atau aplikasi pemasangan di lapangan. Sedangkan faktor yang tidak dapat dikontrol adalah faktor alam misalnya keadaan geologi yang asam dan faktor suhu yang tinggi.

Untuk design casing di industri minyak dan gas, konsentrasi utama berada pada *metal failure* dari burst, collapse atau tension. Tetapi untuk industri panas bumi kehadiran *thermal loads* pada casing menyebabkan terjadinya ketidakstabilan di casing.

Teori Dasar

Casing merupakan komponen cukup mahal pada suatu sumur minyak dan gas bumi, sehingga casing yang digunakan ini merupakan investasinya cukup besar. Pemilihan ukuran casing, berat casing, dan tipe ulirnya (thread) merupakan aspek yang paling penting dipandang dari segi tekniknya yang juga akan menyangkut keekonomisan dan aspek keselamatannya. Casing memiliki beberapa fungsi, yaitu :

- Mencegah gugurnya dinding sumur
- Mencegah terkontaminasinya air tanah oleh lumpur pemboran
- Menutup zona bertekanan abnormal dan zona loss
- Mencegah hubungan antar formasi produksi

Rangkaian *casing string* yang biasa digunakan dalam proses pemboran dan penyelesaian sumur *geothermal* adalah:

1. Conductor Casing

Conductor pipe merupakan casing atau selubung yang pertama kali diletakkan, fungsinya sebagai pelindung terhadap air tanah. Ukurannya besar, biasanya 30" dan selalu disemen sampai ke permukaan.

2. Surface Casing

Surface casing fungsinya untuk mencegah runtuhnya formasi lemah yang terjadi pada kedalaman dangkal. Untuk mencegah masalah buckling karena beban tekanan (*compressive load*) maka biasanya juga selalu disemen sampai ke permukaan. Surface casing juga harus memberikan stabilitas lubang cukup dan melindungi sumur dari aquifer. Surface casing juga sebaiknya menggunakan casing yang cukup berat karena juga berfungsi menyangga berat semua rangkaian casing ketika di run dibawah surface casing. Umumnya berukuran 20" dan mempunyai kedalaman antara 1000 – 2500 ft atau 300 – 760 m

3. Intermediate Casing

Intermediate casing atau sering disebut anchor casing berfungsi untuk mengisolasi zona garam atau zona yang dapat menyebabkan masalah di dalam lubang sumur seperti *sloughing shales*. Casing ini disemen sampai ke permukaan.

4. Production Casing

Production casing merupakan casing yang digunakan untuk memproduksi fluida panas bumi. Production casing umumnya memiliki ukuran yang bervariasi. Untuk lapangan panas bumi Wayang Windu digunakan 9 5/8" s/d 13 3/8", tergantung dari tipe sumur apakah *standard hole* atau *big hole*.

5. Perforated Production Liner

Liner merupakan casing yang berlubang-lubang, tidak disemen dan berfungsi sebagai tempat masuknya fluida panas bumi. Liner berada tepat di bawah production casing dan digantungkan pada production casing (tidak sampai ke permukaan).

Untuk desain casing di industri minyak dan gas konsentrasi utama berada pada metal failure dari burst, collapse atau tension. Tetapi untuk industri panas bumi kehadiran thermal loads pada casing menyebabkan terjadinya ketidakstabilan di casing.

Ketidakstabilan casing dapat diperbaiki dengan beberapa cara:

1. Melakukan penyemenan sampai string terakhir untuk memberikan penyanggaan (support) secara lateral.
2. Menambah grade casing yang lebih aman.

Thermal Stress

Thermal stress adalah tegangan yang terjadi pada *casing* akibat perubahan temperatur. *Thermal stress* akan membuat *casing* mengembang (memuai dan menyusut) dan akan mengalami *failure* pada suatu kondisi temperatur tertentu. Salah satu keunikan pada sumur *geothermal* adalah temperatur tinggi. Temperatur tinggi akan mempengaruhi material *casing* dan menyebabkan efek *plastic deformation*.

Persamaan pada thermal stress dapat dilihat pada 2.1 berikut.

$$\sigma = E\beta\Delta T \dots\dots\dots(2.1)$$

Desain Plastic Deformation

Pada kondisi *plastic deformation*, beban temperatur tidak memberikan proses regangan yang melebihi batas temperatur maksimumnya. Desain yang dihasilkan mengacu pada nilai *yield strength casing* maksimum dalam keadaan *compression* pada temperatur maksimum.

Tahap awal analisa *plastic deformation* adalah mengplot kurva *thermal stress* dan *yield strength reduction* dalam satu chart. *Yield strength reduction* adalah penurunan nilai *yield*

strength casing akibat kenaikan temperatur yang mempengaruhi material *casing*.

Titik temu antara dua kurva tersebut menunjukkan bahwa titik tersebut merupakan temperatur maksimum *casing* untuk tidak mengalami deformasi. Temperatur maksimum ini merupakan titik awal *casing* akan mengalami kondisi *plastic deformation*. Pada temperatur maksimum ini, *casing* akan memiliki nilai *yield strength* baru yang dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan *thermal stress*.

Hasil dan Pembahasan

Sumur RF merupakan sumur pengembangan pada lapangan Geothermal SF-93 yang terletak di daerah Sulawesi Utara dengan total kedalaman 2181 m MD dan Sumur RF merupakan sumur berarah (*directional well*).

Dalam penentuan *casing setting depth (CSD)* diukur dengan menggunakan metode New Zealand, yang mana membutuhkan tekanan *overburden* dan tekanan pori formasi, sehingga didapatkan *shoe depth* padaproduction casing yaitu 1080 m MD, begitu pula dengan surface casing kedalaman *shoe* yang didapatkan adalah 460 m MD dan stove pipe 85 m MD.

Masalah yang dihadapi pada sumur RF adalah surface casing dan production casing mengalami pertambahan panjang. Kronologi casing mengalami ekspansi adalah pertama dilakukan *first bleeding* dengan temperatur 144,18 °F pada tanggal 7 September 2009, casing 13 3/8" memanjang 63 cm, kemudian pada tanggal 29 November 2009 yaitu *second bleeding* dengan temperatur 228,49 °F, casing 13 3/8" memanjang lagi hingga 26 cm dan casing 20" memanjang 10 cm.

Adapun susunan casing pada sumur RF adalah sebagai berikut, stove pipe, surface casing, production casing dan perforated liner. Namun pada kasus ini yang dianalisa hanya surface casing dan production casing karena ekspansi dan collapse terjadi pada surface casing dan production casing. Dengan demikian dilakukan analisa pada sumur RF dengan menggunakan metode beban maksimum dan metode beban thermal antara lain adalah menghitung tekanan burst, collapse, tension, thermal stress dan *plastic deformation* untuk mengetahui akibat dari kegagalan casing.

Perencanaan casing pada sumur RF ini menggunakan surface casing sebesar 20" dengan diameter lubang 26". Pada surface casing dipasang sampai kedalaman 451,75 m TVD atau 1491 ft TVD dan *grade casing* yang digunakan yaitu K-55 dengan berat casing 133 ppf. Tekanan burst yang didapat adalah 994,46 psi, nilai tersebut merupakan nilai maksimum tekanan burst yang dimana terletak pada permukaan. Kemudian dikalikan dengan *Safety Factor* Pertamina Drilling Way (PDW) untuk burst sebesar 1,1 maka hasilnya adalah 1093,91 psi, dengan demikian didapatkan nilai *Design Factor* 2,8 sehingga casing ini dikategorikan aman karena nilai *Design Factor* lebih besar dari *Safety Factor*.

Tekanan collapse yang didapatkan adalah 1085,45 psi, kemudian setelah dikalikan dengan *Safety Factor* Pertamina Drilling Way untuk collapse sebesar 1,1 maka hasilnya adalah 1194 psi, nilai *Design Factor* yang didapatkan masih aman yaitu melebihi nilai *Safety Factor* yaitu 1,26.

Nilai tension yang didapatkan adalah 272523,61 lb., kemudian setelah dikalikan dengan *Safety Factor* Pertamina Drilling Way (PWD) yaitu sebesar 1,3 adalah sebesar 354280,69 lb., *Design Factor* yang didapatkan adalah 5,99 dan masuk kategori aman, karena melebihi nilai *Safety Factor*.

Nilai *thermal stress* dan *plastic deformation* didapatkan berdasarkan metode beban thermal. Untuk menghitung *thermal stress* dibutuhkan nilai *modulus elasticity*, koefisien thermal ekspansi dan perbedaan temperatur berdasarkan material casing. Material casing yang dipakai adalah cast iron grey sehingga didapatkan nilai *modulus*

elasticity 18.855.200 Psi dan koefisien thermal expansion $5,8 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{F}^{-1}$, dan perbedaan temperturnya adalah $67,18 \text{ } ^\circ\text{F}$ sehingga nilai *thermal stress* adalah 7346,38 Psi. *Design factor* dari *thermal stress* pada surface casing dapat diketahui dari hasil pembagian *strength casing* dengan *thermal stress*, sehingga didapatkan 7,49 dan masuk ke kategori yang masih aman karena di atas 2,0 yang merupakan *Safety Factor* dari *thermal stress* berdasarkan API.

Plastic deformation adalah efek stress pada casing. Untuk mendapatkannya dengan cara memplot grafik antara *yield strength reduction vs thermal stress* dan dari titik temu dua kurva tersebut akan didapatkan nilai temperatur maksimum yaitu $410 \text{ } ^\circ\text{F}$. Pada temperatur tersebut menunjukkan bahwa casing akan mengalami deformasi seperti terjadinya ekspansi. Berdasarkan perhitungan, dimana saat kondisi casing *free* yaitu tidak ada semen yang mengikatnya, maka surface casing mengalami ekspansi sebesar 17 cm sehingga salah satu faktor penting untuk menghindari terjadinya ekspansi harus dilakukan penyemenan yang sempurna.

Setelah sumur RF dibor dengan pahat $17 \frac{1}{2}$ " selanjutnya casing $13 \frac{3}{8}$ " L-80 68 lbs/ft. sebagai production casing dipasang sampai kedalaman 961,84 m TVD atau 3156 ft TVD. Tekanan burst yang didapat adalah 2098,74 psi, kemudian dikalikan dengan *Safety Factor* Pertamina Drilling Way (PDW) untuk burst sebesar 1,1 maka hasilnya adalah 2308,61 psi. Dengan demikian didapatkan nilai *Design Factor* 2,17, maka casing ini dikategorikan aman karena nilai *Design Factor* lebih besar dari *Safety Factor*.

Tekanan collapse yang didapatkan adalah 2297,57 psi, kemudian setelah dikalikan dengan *Safety Factor* Pertamina Drilling Way untuk collapse sebesar 1,1 maka hasilnya adalah 2527,33 psi, nilai *Design Factor* yang didapatkan tidak aman yaitu 0,89, karena berada di bawah nilai *Safety Factor*. Adapun grade casing yang aman agar casing $13 \frac{3}{8}$ " tidak collapse adalah casing $13 \frac{3}{8}$ " C-95 72 ppf BTC. Karena grade ini memiliki *collapse resistance* sebesar 2820 psi, sehingga nilai *Design Factor* yang didapatkan adalah 1,12 yang mana lebih dari *Safety Factor* 1,1.

Nilai tension yang didapatkan adalah 290394,29 lb., kemudian setelah dikalikan dengan *Safety Factor* Pertamina Drilling Way (PWD) yaitu sebesar 1,3 adalah sebesar 377512,58 lb, *Design Factor* yang didapatkan adalah 4,12 dan masuk kategori aman karena melebihi nilai *Safety Factor*.

Selanjutnya adalah menghitung nilai *thermal stress* dan *plastic deformation* berdasarkan metode beban thermal. Untuk menghitung *thermal stress* dibutuhkan nilai *modulus elasticity*, koefisien thermal ekspansi dan perbedaan temperatur berdasarkan material casing. Material casing adalah cast iron grey sehingga didapatkan nilai *modulus elasticity* 18.855.200 Psi dan koefisien thermal ekspansi $5,8 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{F}^{-1}$, dan perbedaan temperturnya adalah $151,49 \text{ } ^\circ\text{F}$ sehingga nilai *thermal stress* adalah 16566,75 psi. *Design factor* dari *thermal stress* pada surface casing dapat diketahui dari hasil pembagian *strength casing* dengan *thermal stress*, sehingga didapatkan 4,83 maka masih masuk ke kategori yang masih aman karena berada di atas 2,0 yang merupakan *Safety Factor* dari *thermal stress* berdasarkan API.

Pada perhitungan *plastic deformation* dicari nilai temperatur maksimum yang dimana casing akan mengalami deformasi. Untuk mendapatkannya dengan cara memplot grafik antara *yield strength reduction vs thermal stress* dan dari titik temu dua kurva tersebut, akan didapatkan nilai temperatur maksimum yaitu $555 \text{ } ^\circ\text{F}$. Pada temperatur tersebut menunjukkan bahwa casing akan mengalami deformasi seperti terjadinya ekspansi. Berdasarkan perhitungan, dimana saat kondisi casing *free* yaitu tidak ada semen yang mengikatnya, production casing mengalami ekspansi sebesar 88,6 cm, sehingga salah satu faktor penting untuk menghindari terjadinya ekspansi harus melakukan penyemenan yang sempurna.

Berdasarkan perhitungan beban casing melalui metode beban maksimum (*Maximum Load Method*) pada surface casing 20" dan production casing $13 \frac{3}{8}$ ", tekanan burst pada

kedua casing aman. Pada perhitungan collapse, surface casing 20" dikategorikan aman, sedangkan pada production casing 13 3/8" dikategorikan tidak aman, karena nilai *Design Factor* berada di bawah *Safety Factor*. Selanjutnya beban tension kedua casing dikategorikan aman karena nilai *Design Factor* berada di atas *Safety Factor*.

Selanjutnya adalah mengetahui penyebab dari bertambah panjangnya casing, sehingga dilakukan analisa thermal stress, plastic deformation casing dan perhitungan volume semen yang mengikat casing. Berdasarkan perhitungan, nilai *thermal stress* dan *plastic deformation* surface dan production casing aman. Dengan demikian, faktor memanjangnya casing bukan diakibatkan oleh material casing yang digunakan.

Faktor yang mengakibatkan casing memanjang adalah volume semen yang tidak terisi penuh hingga ke permukaan serta ikatan semen yang buruk. Pada sumur RF tidak melakukan *cement bond logging (CBL)*, sehingga tidak dapat diketahui bagus atau buruknya ikatan semen. Berdasarkan perhitungan volume semen, pada surface casing 20" total volume semen yang dipompakan adalah 704,54 bbl, namun berdasarkan DDR (*Daily Drilling Report*), surface casing dipompakan semen sebesar 748 bbl dan *top job* lewat annulus casing 30" sebesar 40 bbl, jadi total semen yang dipompakan adalah 788 bbl. Dengan demikian berdasarkan perhitungan jumlah semen yang mengisi casing 20" penuh. Namun pada kenyataannya casing 20" tetap mengalami ekspansi, sehingga faktor penyebab casing memanjang adalah *bonding* (ikatan) semen tidak bagus.

Pada Production Casing 13 3/8", sistem penyemenan dilakukan dengan menggunakan sistem *Dual Stage Cementing Collar (DSCC)*. Berdasarkan perhitungan volume semen, total volume semen yang dipompakan pada *stage* pertama adalah 457,11 bbl dan *stage* kedua 314,61 bbl. Namun berdasarkan DDR (*Daily Drilling Report*), production casing dipompakan semen pada *stage* yang pertama sebesar 478 bbl, *stage* kedua 271 bbl serta dilakukan *top job* lewat annulus casing 20" sebesar 15 bbl. Dengan demikian, berdasarkan perhitungan volume semen yang terisi pada casing 13 3/8" pada *stage* kedua tidak terisi penuh, sehingga menyebabkan casing memanjang.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil pembahasan yang telah disebutkan sebelumnya, didapat beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Total panjang elongasi casing 20" pada sumur RF berdasarkan perhitungan adalah 17 cm, namun pada kenyataannya casing 20" mengalami ekspansi sebesar 10 cm, sedangkan pada casing 13 3/8" berdasarkan perhitungan sebesar 88,6 cm dan pada kondisi sebenarnya casing memanjang sebesar 89 cm.
2. Berdasarkan *survey caliper log*, telah terjadi deformasi pada casing yaitu di join ke 9 dan 13. Terhitung telah terjadi collapse 0,12" pada casing joint ke 9 kedalaman 94,14 m dan joint ke 13 sebesar 0,15" pada kedalaman 137,71 m.
3. Berdasarkan perhitungan casing dengan menggunakan *Maximum Load Method*, tekanan collapse pada production casing masuk ke kategori yang tidak aman, karena nilai *Design Factor* dibawah *Safety Factor* yaitu 0,89 sehingga disarankan agar grade casing pada L 80 68 ppf diubah menjadi C-95 72 ppf, yang mana design factor menjadi 1,12.
4. Volume semen pada production casing di *stage* yang kedua tidak terisi penuh. Berdasarkan perhitungan seharusnya casing dipompakan semen sebesar 314,61 bbl, namun pada kenyataannya hanya dipompakan 271 bbl., sehingga mengakibatkan casing memanjang,
5. Ekspansi juga bisa diakibatkan oleh ikatan (*bonding*) semen yang mengisi pada annulus casing 30" – 20" dan 13 3/8" – 20 " tidak bagus. Sehingga ikatan semen tidak mampu menahan perpanjangan casing. Namun pada sumur RF tidak dilakukan *Cement Bond Logging (CBL)* sehingga tidak dapat dilihat bagus atau buruknya ikatan semen.

Daftar Simbol

BF	= buoyancy factor, dimensionless
CSD	= kedalaman casing shoe, (ft)
g	= percepatan gravitasi, (m/s ²)
h	= ketinggian fluida, (ft)
ID	= inside diameter, (inch)
Pf	= tekanan formasi, (psi)
Pi	= tekanan dalam, (psi)
Pe	= tekanan luar, (psi)
P hydrostatic	= tekanan hidrostatik, (N/m ²)
SF	= safety factor, dimensionless
TD	= total kedalaman, (ft)
σ	= Thermal Stress, psi
β	= Coeffisien Thermal Expansion, °F ⁻¹
θ	= Perubahan Sudut, derajat
ρ	= massa jenis fluida, (kg/m ³)
pm	= berat lumpur, (lb/ft ³)
ps	= berat fluida keadaan static, (lb/ft ³)

Daftar Pustaka

- Blankenship, Doug dan Finger, J., “*Handbook of Best Practices for Geothermal Drilling*”, Iceland, 2010.
- Eistinhard, Berlando dan Hermansjah, “Optimalisasi Desain Production Casing Pada Perencanaan Pemboran Sumur Geothermal di Lapangan X”, *The 1st ITB Geothermal Workshop*, Bandung, 2012.
- Ferdiansyah, Fery, “Evaluasi dan Optimalisasi Casing Menggunakan Metode Maximum Load dan Minimum Set pada Sumur Panas Bumi”, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Perminyakan, FTKE, Universitas Trisakti, Jakarta, 2012.
- Hole, Hagen M., “*Geothermal Well Design-Casing and Wellhead*”, *Petroleum Engineering Summer School Workshop*, Dubrovnik, Croatia, 2008.
- Hossein-Pourazad, Hossein, “*High-Temperature Geothermal Well Design*”, *The United Nations University Geothermal Training Programme Report*, Reykjavik, Iceland, 2005.
- lhandbook1.0.4.4.Schlumberger.application.com/www.slb.com
- Marbun, Bonar T. dan Pakpahan, Roy Money, “ Analisis Kegagalan Casing Sumur XXX di Lapangan Panas Bumi”, *The 1st ITB Geothermal Workshop*, Bandung, 2012.
- “Penuntun Praktikum Laboratorium Konservasi Peralatan Bor dan Produksi”, Jakarta: Universitas Trisakti.
- PT. Pertamina Geothermal Energy Team, “*Daily Drilling Report and Final Report of RF Well an SF-93 Field*, PT. Pertamina Geothermal Energy, Jakarta, 2010.
- Rubiandini R S., Rudi., “*Diktat Kuliah Teknik dan Alat Pemboran*”, Bandung:ITB

Rubiandini R S., Rudi., 2012, "*Teknik Operasi Pemboran*", Vol II, Bandung: ITB.

Southon, James N. A., "*Geothermal well Design, Construction and Failures*", *Proceedings World Geothermal Congress 2005 Report*, Antalya, Turkey, April 2005.

http://www.engineeringtoolbox.com/linear-expansion-coefficients-d_95.html

<http://www.migas-indonesia.com/2012/12/leak-off-test.html>

http://petrowiki.org/Determining_depth_to_set_casing

<http://fatmapetroleum.blogspot.com/2011/06/prediksi-tekanan-formasi.html>

<http://lubaucity.blogspot.com/2013/05/sekilas-tentang-casing-pemboran.html>