

Analisis Uji Permeabilitas Total Sumur Berdasarkan Uji Kompleksi Sumur Pada Sumur RL-25 Lapangan Panasbumi Area CLX

Analysis of Gross Permeability Test Based on Well Completion Test At RL-25 Well Geothermal Field Area CLX

Rial Dwi Martasari ^{(1,a)*}, Sayu Mulhasyim⁽²⁾ dan Dwi Arifiyanto⁽²⁾

⁽¹⁾ Jurusan Teknik Geofisika, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Yogyakarta, Indonesia, 55283

⁽²⁾ Prodi Diploma-III Teknik Perminyakan, Akademi Minyak dan Gas Balongan, Indramayu, Indonesia, 45216

Email : ^(a*) rial.dwi@upnyk.ac.id

Diterima (13 Mei 2023), Direvisi (27 Juni 2023)

Abstract. Well completion test in general is a test to determine the characteristics and potential production wells as well as provide information about the truth of targeting achieved in drilling include permeable zone data. Activities include exploratory well completion test the depth, temperature and pressure measurement wells, water loss test (test of water lost), gross permeability test (total permeability test). From the analysis of pressure and temperature ramp then gained the feed zone wells RL-25 1660-2000. Water loss test aims to determine the permeable area by injecting cold water into the well. Based on data from the test water loss KTE position is placed on the well depth of 2000 mKU to RL-25 with such tools will be submerged in the water column. Injectivity is a relationship between the flow rate of water injected into the well with the measured pressure in the permeable area. Injectivity (i) an average of 802.681 lpm/Ksc and specific capacity (Ks) averaging 5.029 lpm/meter for wells RL-25. The well RL-25 has a slope (m) of 12 Ksc with pressure at 1 hour (P1 hour) amounted to 45.55 Ksc and initial pressure (Pi) of 32 Ksc with the assumption that the viscosity (μ) of 2.13×10^{-4} Pa.s and transmissivity (kh) of 1.753179 darcy meter with skin factor (s) of -0.176. Maka of the data injectivity test get 35 Kg/s that can be estimated at 126 tons/hour and by Spesific Steam Comsumsion to generate electric power of 1 MW at 8 ton/h/MW it can result amounted to 15.75 MW.

Keywords: gross permeability test, mayor feed zone, water lost test, well completion test.

Abstrak. Well completion test (uji kompleksi sumur) secara umum merupakan pengujian untuk mengetahui karakteristik dan potensi produksi sumur serta memberikan informasi tentang tingkat kebenaran yang dicapai dalam pemboran meliputi data zona permeable. Kegiatan well completion test meliputi penjajakan kedalaman, pengukuran suhu dan tekanan sumur, water loss test (uji hilang air), gross permeability test (uji permeabilitas total). Dari analisa landaian tekanan (pressure gradient) dan suhu maka didapat feed zone sumur RL-25 1660-2000 mKU. Water loss test bertujuan untuk menentukan daerah permeable dengan cara menginjeksikan air dingin ke dalam sumur. Berdasarkan data water loss test maka posisi KTE diletakkan pada kedalaman 2000 mKU untuk sumur RL-25 dengan demikian tools akan terendam kolom air. Injectivity adalah suatu hubungan antara laju aliran air yang diinjeksikan ke dalam sumur dengan tekanan yang diukur di daerah permeable. Injektivitas (I) rata-rata sebesar 802.681 lpm/ksc dan kapasitas spesifik (Ks) rata-rata 5,029 lpm/meter untuk sumur RL-25. Sumur RL-25 memiliki slope (m) sebesar 12 ksc dengan tekanan pada 1 jam (P1hour) sebesar 45,55 Ksc dan initial pressure (Pi) sebesar 32 Ksc dengan asumsi viskositas (μ) sebesar 2.13×10^{-4} Pa.s dan transmisivitas (kh) sebesar 1,753179 darcy meter dengan skin factor (S) sebesar -0,176. Maka dari data injectivity test mendapatkan 35 Kg/s sehingga dapat diperkirakan sebesar 126 Ton/Jam dan berdasarkan Spesific Steam Comsumsion untuk menghasilkan daya listrik sebesar 1 MW sebesar 8 ton/jam/MW maka di dapat hasil sebesar 15,75 MW.

Kata kunci: gross permeability test, mayor feed zone, water lost test, well completion test.

PENDAHULUAN

Energi merupakan salah satu sektor terpenting dalam pembangunan nasional, disamping sektor lain seperti pangan, sumberdaya manusia, teknologi, ekonomi dan lain-lain [1]. Energi panasbumi adalah energi panas alami dari dalam bumi yang dipindahkan ke permukaan bumi secara konduksi dan konveksi [2,9]. Terdapat pendapat lain yang menyebutkan bahwa energi panasbumi merupakan suatu energi panas yang keluar dari dalam bumi yang terkandung pada batuan dan fluida yang mengisi rekahan dan pori batuan pada kerak bumi [5,7]. Fluida dan batuan reservoir dalam sistem panas bumi biasanya saling bereaksi mengakibatkan perubahan fase padat dan cair, sehingga menghasilkan mineral baru. Perubahan fase ini disebabkan adanya distribusi suhu yang berbeda-beda dalam reservoir panas bumi. Secara umum bentuk alterasi hidrotermal meliputi mineralogi, tekstur, dan respon kimia batuan termal maupun lingkungan kimianya berubah yang ditandai oleh kenampakan air panas, uap air, dan gas [5,10]. Pengaruh suhu dan tekanan akan merubah konduktivitas fluida berpori [8]. Penentuan karakteristik reservoir panasbumi dilakukan untuk mendapatkan informasi mengenai sistem di bawah permukaan, antara lain tekanan dan *temperature*, ketebalan dan luas reservoir, sifat batuan dan sifat fluida yang terkandung didalamnya, serta untuk mendapatkan gambaran mengenai sistem di bawah permukaan atau model konseptual serta untuk memperkirakan besarnya sumber daya, cadangan, potensi listrik dan kemampuan reservoir untuk berproduksi dan memasok uap yang dibutuhkan oleh pembangkit listrik selama minimal 25 tahun.

Langkah awal untuk identifikasi karakteristik reservoir panasbumi adalah melakukan identifikasi parameter panasbumi yang dilakukan sesuai dengan tahapan pengembangan lapangan yang ada. Teknik yang dilaksanakan adalah dengan integrasi semua data yang ada. Adapun data yang digunakan untuk mengetahui karakteristik reservoir meliputi data *well completion test* (uji kompleksi sumur) [4].

Well completion test (uji kompleksi sumur) merupakan pengujian untuk mengetahui potensi produksi sumur serta memberikan informasi tentang kebenaran *targetting* yang dicapai dalam pemboran meliputi data zona *permeable*. Pengukuran dan pengujian sumur panasbumi merupakan kegiatan yang sangat penting dilakukan untuk mendapatkan data atau informasi mengenai kedalaman zona bersuhu tinggi, zona produksi dan pusat-pusat rekahan (*feed zone*), jenis fluida produksi, jenis reservoir serta *pressure* dan *temperature* di dalam sumur dan reservoir, kemampuan produksi sumur, karakteristik fluid, kandungan gas hingga kondisi lubang sumur [6].

Uji permeabilitas dilakukan untuk mengetahui estimasi produksi dan juga untuk mengetahui adanya kerusakan atau pendangkalan sumur. Jika tidak dilakukan *well completion test* maka daerah *feed zone*, zona *permeable* atau adanya indikasi kerusakan sumur tidak akan diketahui. Selain itu estimasi produksi tidak akan akurat dan pasti, karena data yang dihasilkan dari uji permeabilitas total ataupun uji kompleksi sumur sangat berpengaruh pada saat uji produksi ataupun perbaikan sumur.

Area CLX merupakan salah satu lapangan panasbumi yang berwilayah di provinsi Jawa Barat. Pengukuran dan pengujian sumur merupakan kegiatan yang sangat penting dilakukan untuk mengetahui hasil penjajakan kedalaman pada suatu sumur, mengetahui nilai dari hasil perhitungan Uji Permeabilitas Total (*Gross Permeability Test*) berdasarkan parameternya, mengetahui kondisi lubang sumur berdasarkan harga *skin factor* dan mengetahui nilai estimasi produksi berdasarkan SSC (*Specific Steam Consumption*).

METODE PENELITIAN

Bentuk penelitian yang akan dilakukan berupa studi analisis *Gross Permeability Test* yang akan dibagi menjadi beberapa tahap pengolahan data. Alur pengolahan data disusun dalam bentuk diagram alir yang dapat dilihat pada Gambar 1.

Pengumpulan Data

Pengumpulan data yang dibutuhkan mengenai karakteristik sumur RL-25 yaitu data uji permeabilitas total (*gross permeability test*), *Fall of test*, Porositas, kompresibilitas dan *temperature feedzone*.

Pengolahan Data

Tahap pengolahan data dimulai dengan menghitung harga [4,6]:

1. Injektivitas (I)

Besaran injektivitas yaitu ditentukan dengan cara mempergunakan bantuan grafik hubungan antara tekanan yang telah stabil seharga injektivitas. Dari grafik tersebut akan diperoleh kemiringan grafik (*slope*) yang merupakan harga injektivitas (lpm/ksc) dan dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :

$$I = \frac{dW}{dP} \quad (1)$$

Keterangan :

I = Injektivitas (lpm/ksc)

dW = Selisih laju pemompaan (lpm) (laju pemompaan yang akan dihitung–laju pemompaan selanjutnya)

dP = Selisih tekanan (ksc) (Tekanan laju pemompaan yang akan dihitung–tekanan selanjutnya)

2. Kapasitas Spesifik (Ks)

Besaran kapasitas spesifik adalah besaran yang menunjukkan kemampuan reservoir untuk menampung Fluida, ditunjukkan oleh hubungan antara tekanan pompa (laju pemompaan) dan perubahan permukaan cairan. Semakin kecil pengaruh perubahan laju pemompaan terhadap permukaan cairan semakin besar kapasitas spesifik sumur dan sebaliknya. Persamaan yang dipergunakan untuk menentukan besarnya kapasitas spesifik adalah :

$$Ks = \frac{Q}{(W_{li}-W_{iq})} \quad (2)$$

- Ks = Kapasitas spesifik, (lpm/ksc)
 Q = Laju pemompaan, (lpm)
 Wli = Permukaan air pada saat TKS = 0 atau mendekati (*initial water level*)
 Wiq = Permukaan air pada saat dipompakan dengan laju pemompaan Q, (meter)

3. Transmisivitas (kh)

Besaran transmisivitas (kh) dihitung dengan metode *Horner Plot* dan sistem analisa tekanan transient. Transmisivitas mencerminkan kemudahan cairan melewati suatu formasi batuan, sehingga semakin besar harga transmissivitas berarti semakin mudah cairan melewati formasi, demikian pula sebaliknya. Persamaan yang dipergunakan seperti di bawah ini :

$$kh = \frac{(2.303 \times \mu \times Q)}{(4 \times 3,14 \times m)} \quad (3)$$

Keterangan :

- kh = Transmisivitas (darcy meter)
 μ = Viskositas dinamik air pada suhu tertentu (Pa.s)
 Q = Laju pemompaan sebelum *stop* pompa (m^3/dtk)
 m = Kemiringan grafik horner/*slope* (N/m²/cycle)

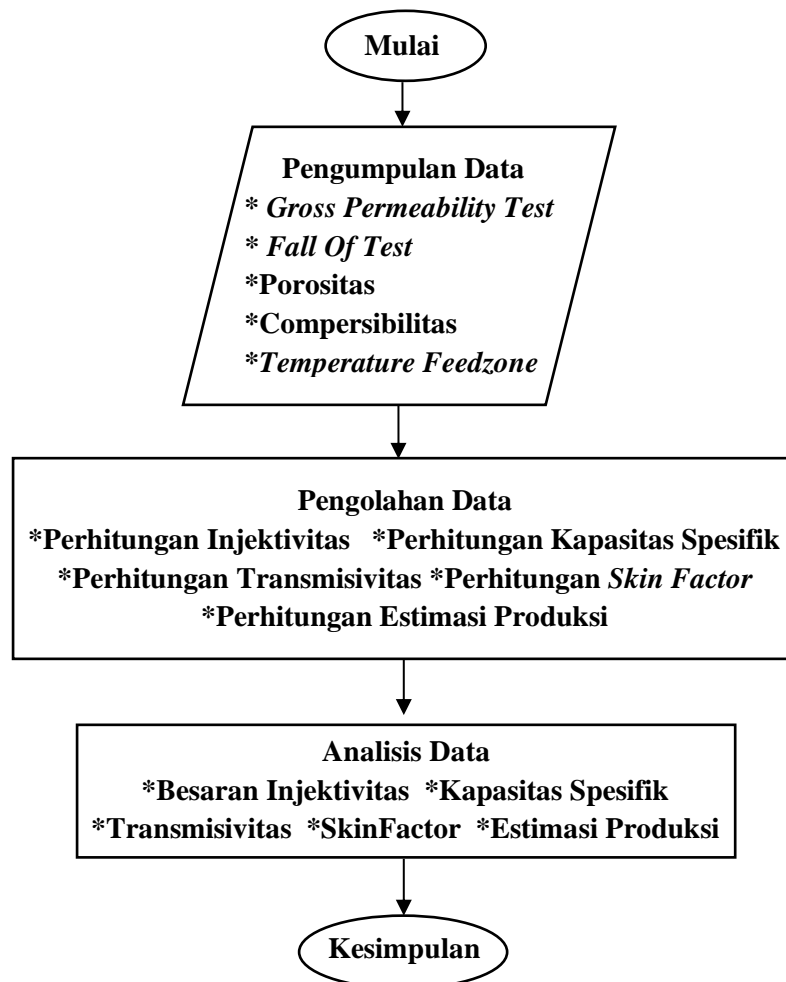
4. Skin Factor (S)

Skin Factor adalah suatu besaran tak berdimensi yang merupakan ukuran dari perubahan kondisi formasi di sekitar lubang bor. Besaran ini dalam analisa tekanan dasar sumur untuk memperhitungkan kerusakan formasi di sekitar lubang bor karena pengaruh lumpur atau air tapisan (filtrat), invasi atau adanya perbaikan aliran di sekitar lubang sumur sebagai hasil dari stimulasi sumur (pengasaman atau peretakan lapisan). Harga *skin factor* positif menunjukkan adanya “*skin damage*” sebaliknya bila faktor penghambat aliran cairan reservoir kecil maka harga *skin factor* adalah negatif. Dari data *pressure fall off* dan *skin factor* dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$S = 1.15 \left\{ \frac{P_{1hr} - P_i}{m} - \log \left(\frac{k}{\mu \cdot \emptyset \cdot C_t \cdot r_w^2} \right) 3.91 \right\} \quad (4)$$

Keterangan :

- S = *Skin factor*
 P1hr = Tekanan pada 1 jam setelah *stop* pompa GPT (pa)
 Pi = Tekanan pada saat *stop* pompa (pa)
 m = Kemiringan garis horner / *slope* (pa/cycle)
 μ = Viskositas air (pa.s)
 rw = Jari-jari linear sumur (meter)
 k = Permeabilitas (meter²)
 \emptyset = Porositas
 Ct = Kompresibilitas



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Analisis Data

Tahap selanjutnya adalah menganalisis besaran injektivitas, kapasitas spesifik, transmisivitas, *skin factor* dari sumur RL-25 sehingga dapat dilakukan perhitungan estimasi produksi. Injektivitas yang telah diukur dari sumur yang diuji dapat digunakan untuk memperkirakan produksi yang diharapkan. Hubungan antara injektivitas dan debit maksimum yang diharapkan untuk sumur standart tergantung pada suhu *feed zone* dan dengan asumsi bahwa reservoir bertekanan normal. Hubungan ini adalah perkiraan dengan tingkat keyakinan 50% sehingga diperlukan pengecekan kembali pada saat uji produksi [4]. Hal ini dapat mempermudah untuk melakukan uji produksi pada tahap selanjutnya dan untuk memberikan indikasi awal dari potensi sumur tersebut. Dengan menggunakan grafik hubungan antara injektivitas dengan laju alir maksimum maka diketahui estimasi potensi produksi sumur RL-25 dengan ditarik garis dari *injectivity* ke atas sampai menyentuh lengkungan 240°C *vapour* dan ditarik garis ke *flow maximum*. Didapatlah nilai *flow maximum* dan dikonversikan ke ton/jam [3].

HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji gross permeability test dengan menginjeksikan fluida pada berbagai laju dilakukan pada sumur RL-25. Laju injeksi awal sebesar 1000 LPM dilakukan selama 30 menit. Namun, data ini tidak digunakan dalam perhitungan injektivitas sumur. Injeksi awal ini lebih bertujuan untuk proses pembersihan sumur. Selanjutnya dilakukan injeksi dengan laju 1000, 1500, 2500 dan 3500 LPM secara berurutan masing-masing selama dua jam.

Injektivitas (I)

Untuk mengetahui nilai Injektivitas maka terlebih dahulu harus diketahui perbandingan antara laju pemompaan (lpm) dengan tekanan (ksc), nilai injektivitas dapat ditentukan dengan menggunakan bantuan grafik hubungan antara laju pompa dengan tekanan. Dari grafik yang tersaji pada Gambar 2 akan diperoleh kemiringan grafik (*slope*) yang merupakan harga injektivitas (lpm/ksc). Hubungan tekanan dan laju pemompaan diperoleh nilai gradien garis regresi sebesar 223,724 lpm/ksc yang akan digunakan untuk mengetahui potensi produksi.

$$I = \frac{dW}{dP} \text{ (lpm/ksc)} \quad (5)$$

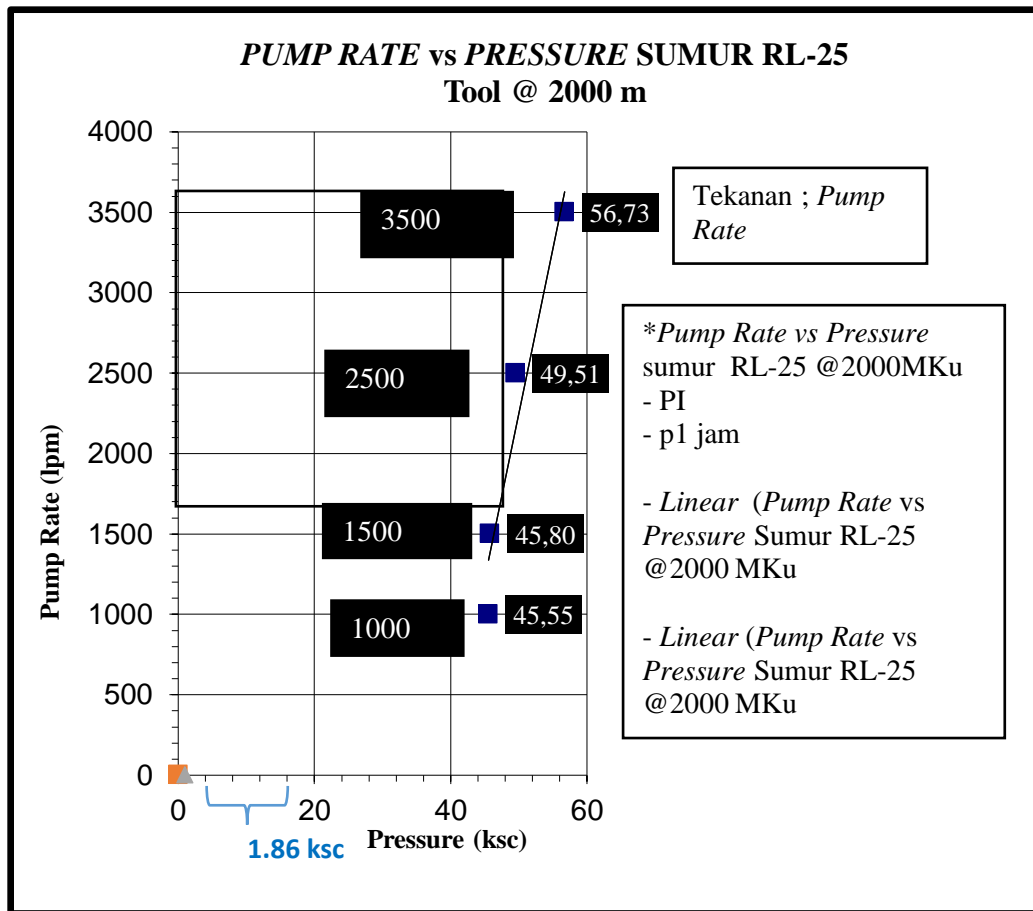
$$I(1) = \frac{1500 - 1000}{45,80 - 45,55} \quad (6)$$

$$I(1) = 2000 \text{ lpm/ksc} \quad (7)$$

Tabel 1. Hasil perhitungan injektivitas rata-rata

I	Laju Pompa	Tekanan (P)	Injektivitas (I)
I ₁	1000	45,55	2000
I ₂	1500	45,80	269,541
I ₃	2500	49,51	138,504
I ₄	3500	56,73	0
Jumlah			2408,045
Injektivitas rata-rata			802,681 lpm/ksc

Berdasarkan data laju pemompaan dan tekanan didapatkan injektivitas rata-rata sebesar 802,681 lpm/ksc.



Gambar 2. Grafik Hubungan Tekanan dan Laju Pompa

Kapasitas Spesifik (Ks)

Besaran kapasitas spesifik adalah besaran yang menunjukkan kemampuan reservoir untuk menampung cairan, ditunjukkan pada tabel 2 hubungan antara tekanan pompa (laju pemompaan) dan perubahan muka cairan.

$$K_s = \frac{Q}{(W_{li} - W_{iq})} \quad (8)$$

$$K_{s4} = \frac{3500}{1566,16 - 1084,73} \quad (9)$$

$$K_{s4} = 7,720 \text{ lpm/meter} \quad (10)$$

Tabel 2. Perhitungan Kapasitas Spesifik

Q	Laju Pompa	Muka Cairan (meter)	Ks (lpm/meter)
1	1000	1196,47	2,17
2	1500	1194,04	4,031
3	2500	1156,91	6,109
4	3500	1084,73	7,270
W _{li} /TKS=0		Rata-rata	5,029

(Tekanan Kepala
Sumur)

Berdasarkan data laju pemompaan (lpm) dengan data muka cairan (meter) didapat kapasitas spesifik rata rata sebesar 5,029 lpm/meter.

Transmisivitas (kh)

Transmisivitas mencerminkan kemudahan cairan dalam media berpori melewati formasi batuan.

Untuk mencari nilai “m” yaitu dilihat dari Gambar 3 dan menggunakan persamaan:

$$m = \frac{P_{1hr} - P_i}{\text{LOG10} - \text{LOG10}}$$

$$= \frac{45,55 - 32}{\text{LOG10} - \text{LOG10}}$$

$$= 13,5 \text{ ksc/cycle}$$

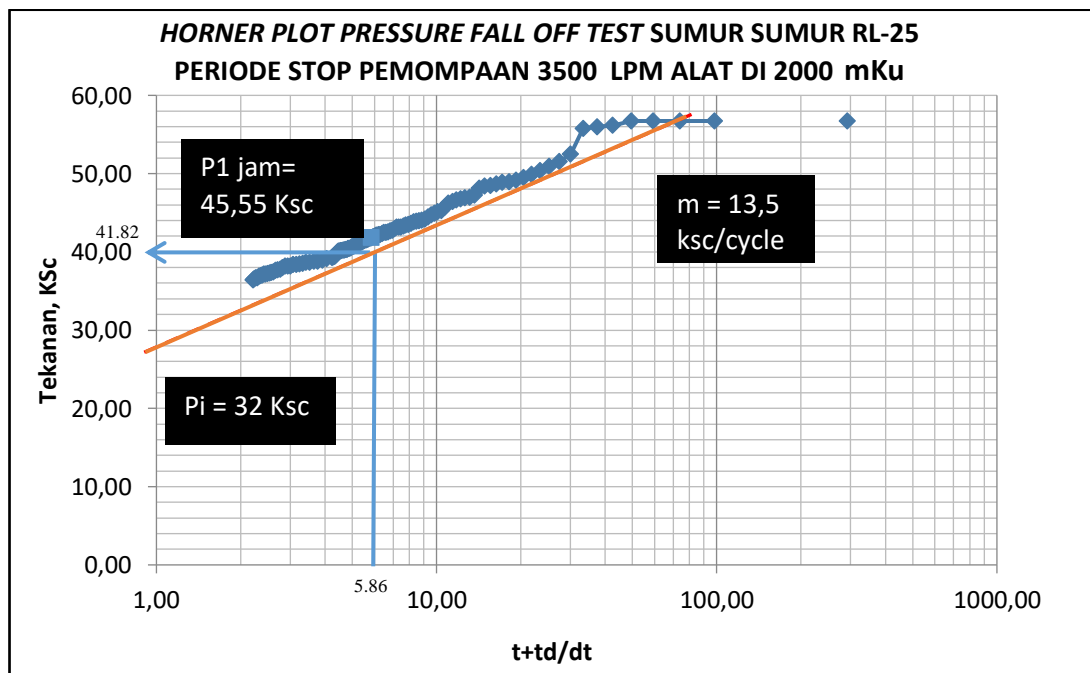
$$m = 1323897,75 \text{ N/m}^2/\text{cycle}$$

$$kh = \frac{(2,303 \times \mu \times Q)}{(4 \times 3,14 \times m)}$$

$$= \frac{(2,303 \times 0,000212676 \times 0,05833)}{(4 \times 3,14 \times 1323897,75)}$$

$$kh = 1,753179 \times 10^{-12} \text{ darcy meter}$$

Berdasarkan hasil perhitungan didapat Transmisivitas (kh) nilai rata rata sebesar $1,753179 \times 10^{-12}$ darcy meter.



Gambar 3. Horner Plot Pressure Fall Of Test Sumur RL-25

Skin Factor (S)

Besaran *skin factor* dalam analisa tekanan dasar sumur untuk memperhitungkan kerusakan formasi di sekitar lubang sumur karena pengaruh lumpur atau air tapisan (filtrat), invasi atau adanya perbaikan aliran di sekitar lubang sumur sebagai hasil dari pengasaman atau peretakan lapisan.

$$S = 1,15 \left\{ \frac{P_{1hr} - P_i}{m} - \log \left(\frac{K}{\mu \cdot \phi \cdot C_t \cdot r_w^2} \right) - 3,91 \right\}$$

$$= 1,15 \left\{ \frac{4466929 - 3138128}{1323897,75} - \log \left(\frac{4,83 \times 10^{-15}}{2,13 \times 10^{-4} \times 0,1 \times 3,97 \times 10^{-6} \times (0,1778)^2} \right) - 3,91 \right\}$$

$$S = -0,176$$

Dari hasil perhitungan *skin factor* dengan menggunakan data hasil *Gross Permeability Test* sumur RL-25 didapatkan hasil nilai *skin factor* sebesar -0,176 yang mengindikasikan tidak ada faktor penghambat aliran cairan reservoir pada sumur RL-25.

Estimasi Produksi (EP)

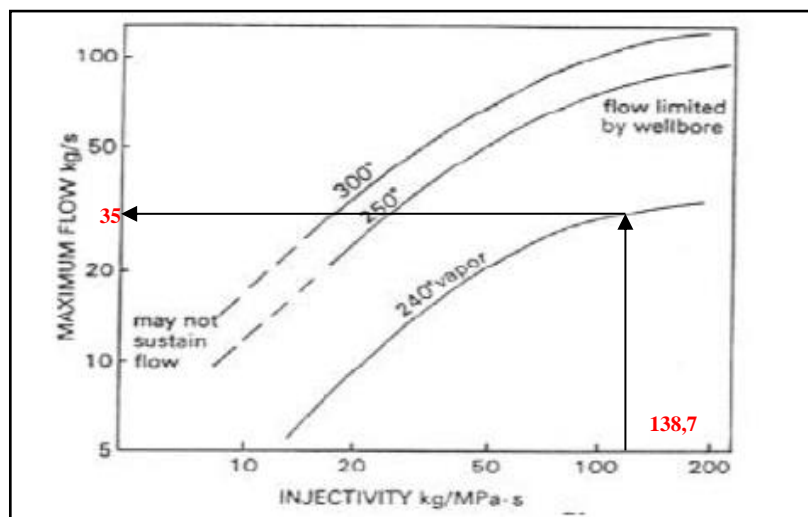
Estimasi potensi produksi (EP) yaitu perhitungan yang dilakukan untuk mengetahui seberapa besar potensi dari sumur RL-25. Perhitungan tersebut dilakukan dengan bantuan (Gambar 4) hubungan antara injektivitas dengan laju alir maksimum (MF).

Berdasarkan data laju pompa dengan tekanan (Gambar 2) injektivitas sumur RL-25 diperoleh nilai injektivitas rata-rata sebesar 802,681 lpm/ksc. Besarnya nilai injektivitas rata-rata 802,681 lpm/ksc akan dikonversi ke Kg/MPa.s, maka:

$$I \text{ (Kg/MPa.s)} = \left(\frac{\text{Injektivitas lpm/ksc} \times 10}{60} \right)$$

$$I \text{ (Kg/MPa.s)} = \left(\frac{802,681 \text{ lpm/ksc} \times 10}{60} \right).$$

$$I = 138,780 \text{ Kg/MPa.s}$$



Gambar 4. Hubungan Antara Injektivitas Dengan Laju Alir Maksimum [3]

Dengan menggunakan (Gambar 4) hubungan antara injektivitas dengan laju alir maksimum maka dapat dilakukan penarikan garis dari nilai *injectivity* sebesar 138,780 Kg/Mpa.s ke atas sampai menyentuh lengkungan 240°C *vapour* dan ditarik garis lagi ke sumbu *flow maximum* dan didapatkan nilai *flow maximum* sebesar 35 Kg/Mpa.s dan dikonversikan ke ton/jam maka :

$$EP \text{ (Ton/jam)} = MF \text{ (Kg/MPa.s)} \times 3,6$$

$$EP \text{ (Ton/jam)} = 35 \text{ Kg/MPa.s} \times 3,6$$

$$EP = 126 \text{ ton/jam}$$

Sehingga diperkirakan pada sumur RL-25 dapat menghasilkan uap sebesar 126 ton/jam. Pada SSC (*Specific Steam Consumption*) untuk menghasilkan daya listrik sebesar 1 MW dibutuhkan 8 ton/jam/MW uap. Sehingga didapatkan dalam perhitungan estimasi produksi sebagai berikut :

$$DL = \frac{EP}{8 \text{ ton/jam/MW}}$$

$$DL = \frac{126 \text{ ton/jam}}{8 \text{ ton/jam/MW}}$$

$$DL = 15,75 \text{ MW}$$

Maka didapatkan bahwa sumur RL-25 menghasilkan daya listrik sebesar 15,75 MW. Namun data perkiraan laju alir ini belum bisa digunakan untuk menentukan langkah uji produksi selanjutnya yang akan digunakan karena keakuratan perhitungan dengan metode grafik tersebut hanya sebesar 50% saja dan untuk melengkapi data sumur tersebut dibutuhkan metode lainnya seperti uji datar, *heating up* atau uji tegak. Jika metode pengujian tersebut sudah dilengkapi, disitulah data sumur sudah bisa diambil kesimpulan seluruhnya.

KESIMPULAN

Dari hasil penjajakan sumur dengan menggunakan *sinker bar* diketahui sumur RL-25 tidak mengalami pendangkalan yaitu kedalamannya tetap pada 2000 meter. Berdasarkan perhitungan dari parameter uji permeabilitas total (*gross permeability test*) didapatkan hasil nilai Injektivitas (I) adalah sebesar 802,681 lpm/ksc, Kapasitas spesifik (Ks) sebesar 5,029 lpm/meter, Transmisivitas (kh) sebesar 1,753 darcy meter dan Skin factor (S) sebesar -0,176. Berdasarkan data harga *skin factor* yang memiliki nilai *negative* (-), maka dapat disimpulkan bahwa sumur RL-25 tidak mengalami kerusakan. Berdasarkan SSC (*Specific Steam Consumption*) untuk menghasilkan 1 MW daya listrik membutuhkan 8 ton/jam/MW uap, maka estimasi potensi produksi yang didapat sebesar 126 ton/jam dan dapat menghasilkan daya listrik sebesar 15,75 MW.

REFERENSI

- [1] Boedoyo, M. Sidik, *Pengembangan Teknologi Energi Alternatif Untuk Mendukung Ketahanan Dan Kemandirian Energi Nasional*, Jakarta, Badan Pengkajian Dan Penerapan Teknologi (BPPT), 2007.
- [2] Glassley William E, *Geothermal Energy*, United State of America, CRC Press, 2010.
- [3] Grant, Malcolm A., *Geothermal Reservoir Engineering*, United State of America, Academic Press Is an Imprint Of Elservier, 2011.
- [4] Indrakusuma Nugroho, Sabda, *Studi Perbandingan WCT*, Jakarta, Institut Pertamina Geothermal Energy, 2012.
- [5] Ismul Hadi; Arif.; Refrizon, *Distribusi Sumber Panas Bumi Berdasarkan Survei Gradien Suhu Dekat Permukaan Gunungapi Hulu Lais*, Jurnal Gradien, Vol. 1, No. 2, pp 64-68, Juli 2005.
- [6] Nenny Miryani Saptadji, *Teknik Panas Bumi*, Bandung, Institut Teknologi Bandung, 2009.
- [7] Rybach, L., dan L.G.P. Muffler, *Geothermal Sistem : Principles and Case Histories*, Geological Journal, Vol. 17, no. of page 243-249, 1981.
- [8] Schon, J.H., Physical Properties of Rock, *Fundamental and Principles of Petrophysics*, Pergamon, Leoben, 1998.
- [9] Suparno, Supriyanto, *Energi Panas Bumi A Present From The Heart Of The Earth Edisi I*, Jakarta, Departemen Fisika-FMIPA Universitas Indonesia, 2009.
- [10] Wohletz, K., dan G. Heiken, *Volcanology and Geothermal Energy*, University of California Press, Los Angeles, 1992.