

## Studi Optimasi Kinerja Sucker Rod Pump Pada Sumur A-1, A-2, Z-1, Dan Z-2 Menggunakan Perangkat Lunak Prosper

Syahrinal Faiz, Djoko Sulistyanto, Samsol ST  
Program Studi Teknik Perminyakan, Universitas Trisakti

### Abstract

Sucker rod pump is a type of artificial lift methods are often used to date. Sucker rod pump suitable for wells with low productivity, as well as the relative ease in operation and treatment because people in the field have been much acquainted with this type of pump. Sucker rod pump working principle or often called beam pumping up and down movement harnesses from the plunger to push the fluid reservoir to the surface. Optimization sucker rod pump performance can be performed using software prosper.

Keywords: Sucker Rod Pump, Artificial Lift method

### Pendahuluan

Prinsip kerja dari *artificial lift* ialah mengubah tenaga yang dihasilkan oleh sistem peralatan *artificial lift* menjadi tenaga yang mengangkat fluida reservoir ke permukaan. Dalam pemilihan peralatan yang digunakan untuk keperluan *artificial lift* diperlukan suatu perencanaan secara teliti dan pemilihan jenis peralatan yang tepat, sehingga *rate* produksi fluida atau minyak yang diinginkan akan tercapai. Dalam penulisan ini akan dibahas mengenai *sucker rod pump* atau yang sering disebut juga pompa angguk dimana jenis pompa ini banyak dimanfaatkan sebagai sistem pengangkatan buatan. Tujuan dari tugas akhir ini adalah dapat mengevaluasi dan mengoptimasi pompa yang telah terpasang menggunakan bantuan perangkat lunak prosper. Melalui proses evaluasi akan diketahui kemampuan awal pompa dalam memproduksi fluida, dari hasil tersebut dapat dilihat laju alir yang dihasilkan pompa sudah optimal atau tidak sesuai dengan kapasitas pompa dan laju alir maksimum sumur. Kemudian proses optimasi pompa ini dilakukan dengan mengganti beberapa parameter pada pompa agar dapat menghasilkan laju alir yang optimal. Parameter pompa yang diganti yaitu kecepatan pompa, panjang langkah, dan diameter pompa.

### Rumusan Masalah

Masalah yang akan dikaji pada tugas akhir ini yaitu laju alir pompa yang terpasang kurang optimal, pompa *sucker rod* dioptimasi dengan mengganti beberapa parameter pompa yaitu kecepatan pompa, panjang langkah dan diameter pompa. Dipilih pompa dengan karakteristik yang paling baik yang menghasilkan *economic index* terendah dan *lift efficiency* terbesar.

### Teori Dasar

#### Produktivitas Formasi

Kemampuan dari formasi untuk mengalirkan fluida akan mengalami penurunan, yang besarnya sangat tergantung pada penurunan tekanan reservoir. Parameter yang menyatakan produktivitas formasi adalah *Index Produktivitas* (PI) dan *Inflow Performance Relationship* (IPR) Produktivitas formasi adalah kemampuan suatu formasi untuk memproduksi fluida yang dikandungnya pada kondisi tekanan tertentu. Pada umumnya sumur-sumur yang baru ditemukan mempunyai tenaga pendorong alamiah yang mampu mengalirkan fluida hidrokarbon dari reservoir ke permukaan dengan

tenaganya sendiri, dengan berjalannya waktu produksi, kemampuan dari formasi untuk mengalirkan fluida tersebut akan mengalami penurunan, yang besarnya sangat tergantung pada penurunan tekanan reservoir.

### **Productivity Index (PI)**

*Productivity Index* (PI) merupakan indeks yang digunakan untuk menyatakan kemampuan suatu formasi untuk berproduksi pada suatu beda tekanan tertentu atau merupakan perbandingan antara laju produksi yang dihasilkan formasi produktif pada *drawdown* yang merupakan beda tekanan dasar sumur saat kondisi statis ( $P_s$ ) dan saat terjadi aliran ( $P_{wf}$ ). PI dituliskan dalam bentuk persamaan :

$$PI = J = \frac{q}{(P_s - P_{wf})} \text{ STB/Day/Psi} \dots\dots\dots (2-1)$$

Apabila fluida dalam formasi diketahui berada pada kondisi 2 fasa, maka bentuk persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$PI = \frac{Q}{(P_r - P_b) + \frac{P_r}{1.8} (1 - 0.2 \left(\frac{P_{wf}}{P_b}\right) - 0.8 \left(\frac{P_{wf}}{P_b}\right)^2)} \dots\dots\dots (2-2)$$

### **Inflow Performance Relationship (IPR)**

*Inflow Performance Relationship* (IPR) merupakan pernyataan PI secara grafis yang menggambarkan perubahan-perubahan dari harga tekanan alir dasar sumur ( $P_{wf}$ ) versus laju alir ( $q$ ) yang dihasilkan karena terjadinya perubahan tekanan alir dasar sumur. Apabila tekanan reservoir di bawah tekanan *bubble point* minyak, dimana gas semula larut akan terbebaskan, membuat fluida menjadi dua fasa. Menurut Muskat, bentuk IPR pada kondisi tersebut melengkung, sehingga PI menjadi suatu perbandingan antara perubahan laju produksi  $dq$  dengan perubahan tekanan alir dasar sumur,  $dP_{wf}$ . Untuk sumur yang memproduksi air dengan *watercut* lebih dari 50%, IPR dapat dibentuk dengan *composite*. *Composite* IPR merupakan kombinasi persamaan Vogel dengan PI konstan untuk air. Dalam metode ini dipergunakan besarnya fraksi air dan minyak.

Berikut adalah langkah membuat *composite* IPR dengan menggunakan laju alir sebagai asumsi :

1. Hitung nilai PI

$$PI = \frac{q}{P_r - P_{wf}} \dots\dots\dots (2-3)$$

2. Hitung harga  $Q_b$

$$Q_b = PI \times (P_r - P_b) \dots\dots\dots (2-4)$$

3. Hitung  $Q_0$  max

$$Q_0 \text{ max} = Q_b + (PI \times P_b / 1.8) \dots\dots\dots (2-5)$$

4. Hitung  $Q_1$  max

$$Q_1 \text{ max} = Q_0 \text{ max} + F_w [P_r - (Q_0 \text{ max} / PI)] \tan \alpha \dots\dots\dots (2-6)$$

5. Hitung  $P_{wf}$  saat  $0 < Q_1 < Q_b$

$$P_{wf} = P_r - (Q_1 / PI) \dots\dots\dots (2-7)$$

6. Hitung  $P_{wf}$  saat  $Q_b < Q_1 < Q_0 \text{ max}$

$$P_{wf} = F_w [P_r - (Q_1 / PI)] + F_o (0.125) P_b \left[ -1 + \sqrt{81 - 80 \left( \frac{Q_1 - Q_b}{Q_0 \text{ max} - Q_b} \right)} \right] \dots\dots\dots (2-8)$$

7. Hitung  $P_{wf}$  saat  $Q_0 \text{ max} < Q_1 < Q_1 \text{ max}$

$$P_{wf} = F_w [P_r - (Q_0 \text{ max} / PI)] - (Q_0 \text{ max} - Q_1) (\tan \beta) \dots\dots\dots (2-9)$$

### Perhitungan Karakteristik Operasi Sucker Rod Pump

Komponen-komponen peralatan pompa *sucker rod* merupakan suatu gabungan yang kompleks dan menyatu, dengan kata lain akan saling ketergantungan satu dengan yang lain. Oleh karena itu penting dilakukannya analisa peralatan pompa untuk menjaga efisiensi pompa mengangkat fluida naik ke permukaan.

1. Kapasitas Pompa (Pump Displacement) adalah laju produksi teoritis untuk satu konfigurasi pompa tertentu.

$$PD = K S_p N \text{ (bbl/hari)}$$

2. Peak polished rod load (beban polished rod maksimum)

$$PPRL = W_{rr} + (F_1/Sk_r) \times Sk_r \text{ (lbs)}$$

3. Minimum polished rod load (beban polished rod minimum)

$$MPRL = W_{rr} + (F_2/Sk_r) \times Sk_r \text{ (lbs)}$$

4. Peak torque (torsi maksimum)

$$PT = (2T/S^2k_r) \times Sk_r \times T_a \times S/2 \text{ (in.-lbs)}$$

5. Polished rod HP (daya kuda polished rod untuk conventional)

$$PRHP = (F_3/Sk_r) \times S \times N \times 2.53 \times 10^{-6} \text{ (Hp)}$$

6. Index of torsional effectiveness (indeks efektivitas torsi)

$$ITE = [(100 \times 63025 \times PRHP)/(PT \times N)] \text{ (percent)}$$

7. Counterbalance yang dibutuhkan

$$CBE = 1.06 (W_{rr} + 1/2F_o) \text{ (lbs)}$$

8. Stress (max) = PPRL/A (psi)

catatan A = luas rod teratas (terbesar)

9. Stress (min) = MPRL/A (psi)

10. Stress maksimum yang diijinkan

$$SF = (0.25 \times T) + (0.5625 \times \text{stress (min)}) \text{ (psi)}$$

11. Hydraulic horse power

$$HP_n = (L \times PD)/135771 \text{ (Hp)}$$

12. LE (lift efficiency) = (100 x HP<sub>n</sub>)/PRHP (percent)

13. EI (economic index) =  $10^{-7} [(W_{max} \times PT \times PRHP) / LE]$  (lb<sup>2</sup>-in-Hp)

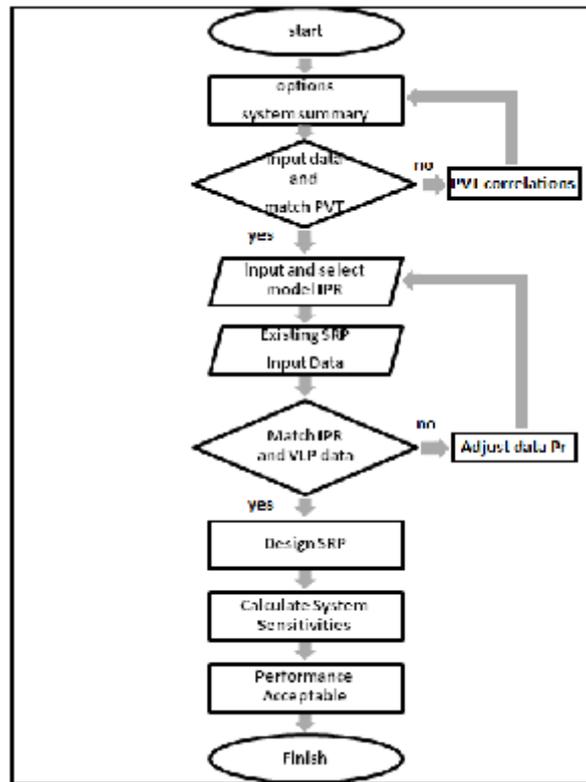
Catatan : Economic index (EI) memberikan kombinasi pemompaan paling ekonomis dengan mempertimbangkan torsional, struktural, prime mover, dan pengangkatan fluida. Dengan memilih nomor EI terendah, sistem pemompaan yang paling ekonomis akan didapatkan

### Metodologi Penelitian

Dalam penelitian ini metode yang digunakan yaitu dengan bantuan *software* "Prosper". *Software* ini dipakai untuk membantu pengerjaan evaluasi dan optimasi pompa *sucker rod* yang terdapat pada sumur-sumur kajian.

### Flow Chart Penggunaan Prosper

Tahapan penggunaan Prosper dapat ditampilkan dalam bentuk *flow chart* sebagai berikut.



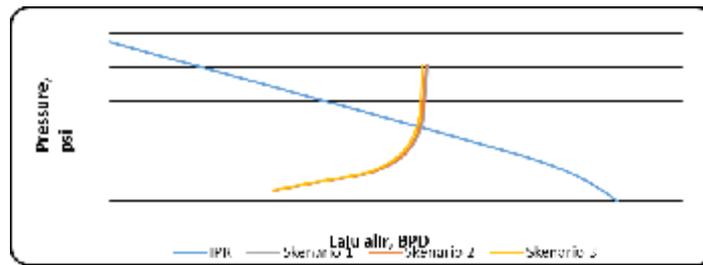
Gambar 1. Flow Chart Penggunaan Prosper

### Hasil Simulasi

Salah satu metode pengangkatan yang sampai sekarang masih digunakan adalah *sucker rod pump*. Pada bab ini akan dibahas mengenai hasil evaluasi dan optimasi yang dilakukan pada sumur-sumur yang telah terpasang *sucker rod pump*. Sumur yang akan dioptimasi yaitu sumur N-1, sumur N-2, sumur Y-1, sumur Y-2. Optimasi keempat sumur dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Prosper. Hasil simulasi yang didapat dari masing-masing sumur sebagai berikut :

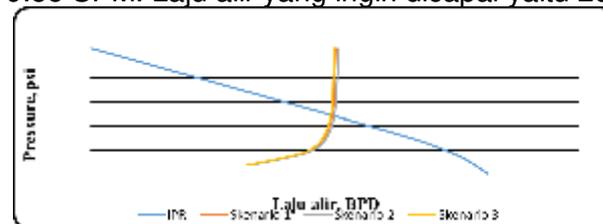
#### 1. Sumur A-1

Sumur A-1 memiliki laju alir produksi sebesar 235 BPD. Untuk melakukan optimasi perlu diketahui dahulu kemampuan pasok dari sumur ini, kurva IPR dihitung dan dibuat menggunakan prosper dengan memasukkan data tekanan dan laju alir. IPR yang dipakai dalam perhitungan adalah *composite* IPR karena sumur A-1 mempunyai watercut yang tinggi. Laju alir maksimum dari sumur ini yaitu 531.1 BPD dan *productivity index* sebesar 1.28 BPD/psi. Lalu dihitung kapasitas pompa awal yaitu 295.6 BPD. Dapat dilihat bahwa kapasitas pompa awal masih jauh dibawah laju alir maksimum oleh karena itu dapat dilakukan penggantian parameter pompa dengan ukuran yang lebih besar. Dengan menggunakan Prosper disimulasikan pompa agar laju alirnya meningkat dengan mengganti beberapa parameter yaitu kecepatan pompa, panjang langkah dan diameter pompa. Parameter pompa awal yaitu kecepatan pompa 12.75 SPM, panjang langkah 67 in, diameter pompa 1.75 in. Dilakukan 3 skenario dalam melakukan perubahan parameter pompa. Dari karakteristik pompa yang dihasilkan oleh masing-masing skenario dipilih skenario pertama karena pompa skenario pertama menghasilkan *economic index* yang paling kecil, daya yang dibutuhkan juga tidak terlalu besar dan juga memiliki *lift efficiency* terbesar. Pada skenario pertama menggunakan *stroke length* yang sama dengan kondisi awal yaitu 67 in, diameter pompa diperbesar dari 1.75 in menjadi 2.25 in, dan kecepatan pompa berkurang dari 12.75 SPM menjadi 11 SPM.. Laju alir yang ingin dicapai yaitu 319 BPD.

Gambar 2. Kurva *Outflow* Skenario Sumur A-1

## 2. Sumur A-2

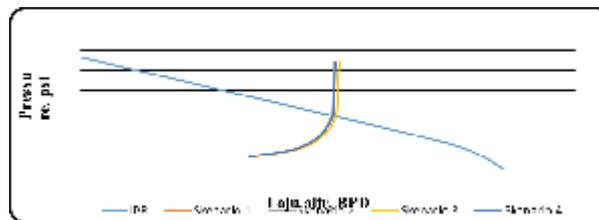
Sumur A-2 memiliki laju alir produksi sebesar 264 BPD. Dalam proses optimasi ini yang perlu dilakukan dahulu adalah menentukan kemampuan pasok dari sumur, kurva IPR dihitung dan dibuat menggunakan prosper dengan memasukkan data tekanan dan laju alir. IPR yang dipakai dalam perhitungan adalah composite IPR karena sumur A-2 mempunyai *watercut* yang tinggi. Laju alir maksimum dari sumur ini yaitu 487.4 BPD dan *Productivity Index* sebesar 1.06 BPD/psi. Lalu dihitung kapasitas pompa yaitu 343 BPD. Dapat dilihat bahwa kapasitas pompa awal masih jauh dibawah laju alir maksimum oleh karena itu dapat dilakukan penggantian parameter pompa dengan ukuran yang lebih besar. Dengan menggunakan prosper disimulasikan pompa agar laju alirnya meningkat dengan mengganti beberapa parameter yaitu kecepatan pompa, panjang langkah dan diameter pompa. Parameter pompa awal yaitu kecepatan pompa 13.2 SPM, panjang langkah 74 in, diameter pompa 1.75 in. Dilakukan 3 skenario dalam melakukan perubahan parameter pompa. Dari karakteristik pompa yang dihasilkan oleh masing-masing skenario dipilih skenario ketiga meskipun skenario ketiga membutuhkan daya yang cukup besar namun pada skenario ketiga menghasilkan *economic index terendah* dan *lift efficiency yang cukup besar*. Pada skenario ketiga dilakukan penggantian *stroke length*, kecepatan pompa serta mengganti ukuran *plunger* dan diameter pompa. Parameter pompa yang digunakan skenario ketiga yaitu *stroke length* diperbesar dari 74 in menjadi 86 in, untuk diameter pompa dan ukuran *plunger* dilakukan penggantian yaitu dari berukuran 1.75 in menjadi 2 in. Penggantian kecepatan pompa yang perlu dilakukan yaitu dari 13.2 SPM menjadi 9.85 SPM. Laju alir yang ingin dicapai yaitu 293 BPD.

Gambar 3. Kurva *Outflow* Skenario Sumur A-2

## 1. Sumur Z-1

Sumur Z-1 memiliki laju alir produksi sebesar 294 BPD. Hal pertama yang dilakukan untuk mengoptimasi adalah membuat kurva IPR menggunakan prosper dengan memasukkan data tekanan dan laju alir untuk menentukan kemampuan pasok sumur. IPR yang dipakai dalam perhitungan adalah composite IPR karena sumur Z-1 mempunyai *watercut* yang tinggi. Laju alir maksimum dari sumur ini yaitu 600.7 BPD dan *productivity index* sebesar 1.22 BPD/psi. Lalu dihitung kapasitas pompa yaitu 368.8 BPD. Dapat dilihat bahwa kapasitas pompa awal masih jauh dibawah laju alir maksimum oleh karena itu dapat dilakukan penggantian parameter pompa dengan ukuran yang lebih besar. Dengan menggunakan prosper disimulasikan pompa agar laju alirnya meningkat dengan

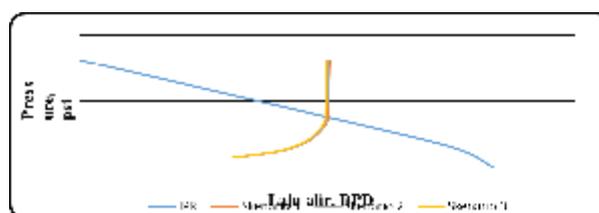
mengganti beberapa parameter yaitu kecepatan pompa, panjang langkah dan diameter pompa. Parameter pompa awal yaitu kecepatan pompa 9.51 SPM, panjang langkah 85 in, diameter pompa 2 in. Dilakukan 4 skenario dalam melakukan perubahan parameter pompa. Dari karakteristik pompa yang dihasilkan oleh masing-masing skenario dipilih skenario kedua karena pompa dengan parameter tersebut membutuhkan daya yang lebih kecil dibandingkan dengan skenario yang lain, dan juga skenario kedua ini memiliki nilai efisiensi pengangkatan yang tinggi yaitu 95.2%. Pada skenario kedua menggunakan *stroke length* tetap, dan dilakukan penggantian kecepatan pompa, dan ukuran *plunger* serta diameter pompa. Parameter pompa yang digunakan skenario kedua yaitu *stroke length* tetap 85 in, untuk diameter pompa dan ukuran *plunger* dilakukan penggantian yaitu dari berukuran 2 in menjadi 2.25 in. Penggantian kecepatan pompa yang perlu dilakukan yaitu dari 9.51 SPM menjadi 9.21 SPM. Laju alir yang ingin dicapai yaitu 360 BPD.



Gambar 4. Kurva *Outflow* Skenario Sumur Z-1

## 2. Sumur Z-2

Sumur Z-2 memiliki laju alir produksi sebesar 327 BPD. Dalam proses optimasi ini yang perlu dilakukan dahulu adalah menentukan kemampuan pasok dari sumur, kurva IPR dihitung dan dibuat menggunakan prosper dengan memasukkan data tekanan dan laju alir. IPR yang dipakai dalam perhitungan adalah composite IPR karena sumur Z-2 mempunyai *watercut* yang tinggi. Laju alir maksimum dari sumur ini yaitu 669 BPD dan productivity index sebesar 1.17 BPD/psi. Lalu dihitung kapasitas pompa yaitu 408.4 BPD. Dapat dilihat bahwa kapasitas pompa awal hanya berbeda sedikit dibandingkan dengan laju alir maksimum, hal ini menunjukkan pompa awal sudah cukup optimal. Parameter pompa awal yaitu kecepatan pompa 8.71 SPM, panjang langkah 102 in, diameter pompa 2 in. Dilakukan 3 skenario dalam melakukan perubahan parameter pompa. Dari karakteristik pompa yang dihasilkan oleh masing-masing skenario dipilih skenario ketiga karena pompa dengan parameter tersebut membutuhkan daya yang lebih kecil dibandingkan dengan skenario yang lain, dan juga skenario ketiga ini juga memiliki nilai efisiensi pengangkatan paling tinggi yaitu 92.2 %. Pada skenario ketiga dilakukan penggantian panjang langkah, ukuran *plunger* dan diameter pompa, serta kecepatan pompa. Parameter pompa yang digunakan skenario ketiga yaitu *stroke length* diperbesar dari 102 in menjadi 120 in, diameter pompa dan ukuran *plunger* dilakukan penggantian dari berukuran 2 in menjadi 2.25 in. Penggantian kecepatan pompa yang perlu dilakukan yaitu dari 8.71 SPM menjadi 7.2 SPM. Laju alir yang ingin dicapai yaitu 401 BPD.



Gambar 5. Kurva *Outflow* Simulasi Sumur Z-2

## Kesimpulan

Berikut ini dibahas mengenai kesimpulan dari proses evaluasi dan optimasi yang dilakukan terhadap sumur yang sudah terpasang pompa *sucker rod*. Sumur yang menjadi bahasan adalah sumur A-1, sumur A-2, sumur Z-1, dan sumur Z-2. Proses optimasi dilakukan dengan perangkat Prosper menghasilkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Sumur A-1 memiliki laju alir maksimum sebesar 531.3 BPD dan *Productivity Index* 1.28 BPD/psi.
2. Optimasi pada sumur A-1 dilakukan dengan meningkatkan laju alir pompa *sucker rod* dari 235 BPD menjadi 319 BPD. Skenario pompa yang baik digunakan pada sumur A-1 yaitu skenario pertama, dimana pada pompa *sucker rod* menggunakan *stroke length* 67 in dan diameter pompa 2.25 in, dengan kecepatan pompa yang diperlukan 11 SPM. *Lift efficiency* yang dihasilkan pada skenario pertama adalah 103%.
3. Sumur A-2 memiliki laju alir maksimum sebesar 487.4 BPD dan *Productivity Index* 1.06 BPD/psi.
4. Optimasi pada sumur A-2 dilakukan dengan meningkatkan laju alir pompa *sucker rod* dari 264 BPD menjadi 293 BPD. Skenario pompa yang baik digunakan pada sumur A-2 yaitu skenario ketiga, dimana pada pompa *sucker rod* menggunakan *stroke length* 86 in dan diameter pompa 2 in, dengan kecepatan pompa yang diperlukan 9.85 SPM. *Lift efficiency* yang dihasilkan pada skenario kedua adalah 76.7 %.
5. Sumur Z-1 memiliki laju alir maksimum sebesar 600.7 BPD dan *Productivity Index* 1.22 BPD/psi.
6. Optimasi pada sumur Z-1 dilakukan dengan meningkatkan laju alir pompa *sucker rod* dari 294 BPD menjadi 360 BPD. Skenario pompa yang baik digunakan pada sumur Z-1 yaitu skenario kedua, dimana pada pompa *sucker rod* menggunakan *stroke length* 85 in dan diameter pompa 2.25 in, dengan kecepatan pompa yang diperlukan 9.21 SPM . *Lift efficiency* yang dihasilkan pada skenario kedua adalah 95.2%.
7. Sumur Z-2 memiliki laju alir maksimum sebesar 669 BPD dan *Productivity Index* 1.17 BPD/psi.
8. Optimasi pada sumur Z-2 dilakukan dengan meningkatkan laju alir pompa *sucker rod* dari 327 BPD menjadi 401 BPD. Skenario pompa yang baik digunakan pada sumur Z-2 yaitu skenario ketiga, dimana pada pompa *sucker rod* menggunakan *stroke length* 120 in dan diameter pompa 2.25 in, dengan kecepatan pompa yang diperlukan 7.2 SPM. *Lift efficiency* yang dihasilkan pada skenario ketiga adalah 92.2%

## Daftar Pustaka

- Brown, KE., "*The Technology of Artificial Lift Methods*", Volume 1, Petroleum Publishing Company, Tulsa Oklahoma, 1977.
- Brown, KE., "*The Technology of Artificial Lift Methods*", Volume 2A, Petroleum Publishing Company, Tulsa Oklahoma, 1980.
- Brown, KE., "*The Technology of Artificial Lift Methods*", Volume 2B, Petroleum Publishing Company, Tulsa Oklahoma, 1980.
- Brown, KE., "*The Technology of Artificial Lift Methods*", Volume 4, Petroleum Publishing Company, Tulsa Oklahoma, 1984.
- Caft, Holden Graves Jr., "*Well Design, Drilling and Production*", Prentice Hall, New Jersey, 1962.
- Rubiandini, Rudi, "*Artificial Lift*", Institut Teknologi Bandung, Bandung, 2010.

Tackas, G., "Sucker Rod Pumping Manual" PennWell Corporation, Tulsa, Oklahoma, 2003.

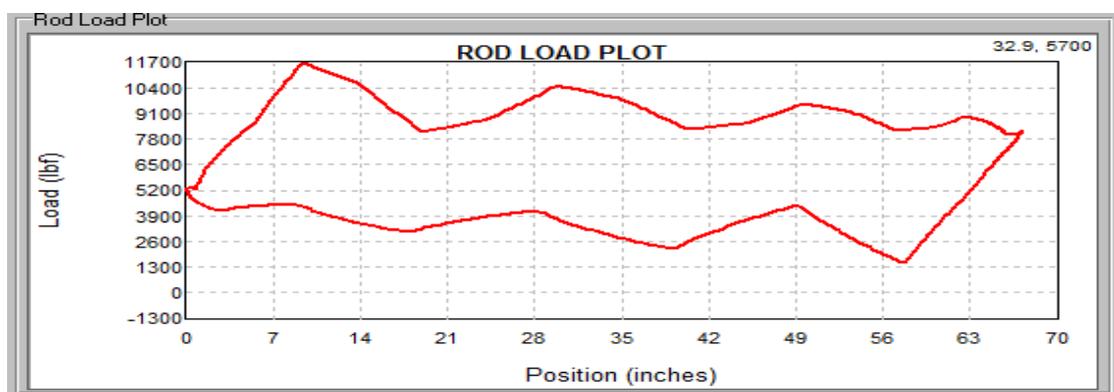
Tjondro, Bambang, "Artificial Lift", PT. Medco E&P Indonesia, Jakarta, 2005.

Tri, Ayu, "Analisa Perancangan Sucker Rod Pump", Jurusan Teknik Perminyakan, Universitas Trisakti, Jakarta, 2009.

Widartono, Msc, "Diktat Kuliah Teknik Produksi Lanjut", Jurusan Teknik Perminyakan, Universitas Trisakti, Jakarta, 1998.

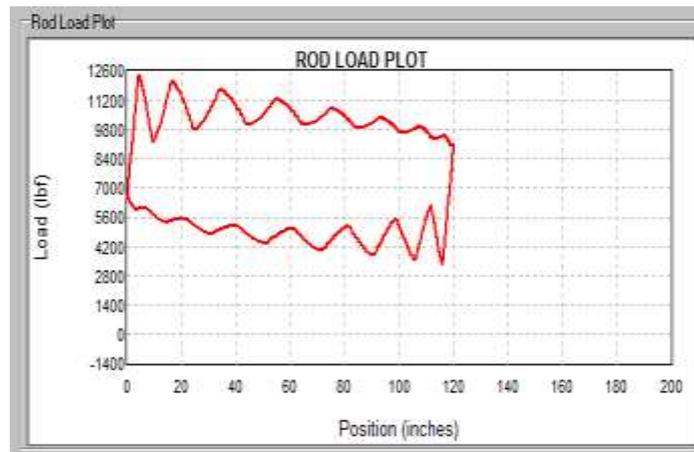
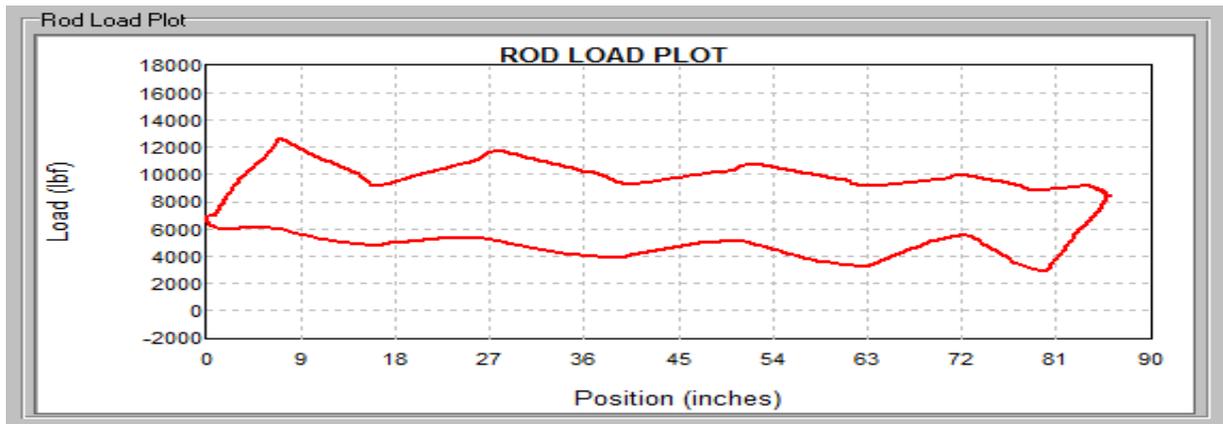
## LAMPIRAN

Sumur A-1, Sumur A-2. Skenario Pertama



Sumur Z-1. Skenario Kedua

Design Results		
Frictional Power	2.12804	hp
Polished Rod Power	6.36675	hp
Name Plate Power	9.9733	hp
Torsional Effectiveness (ITE)	33.7335	percent
Lift Efficiency (LE)	76.7337	percent
Economic Index (EI)	198.117	



Sumur Z-2. Skenario Ketiga

Design Results		
Work Done By Pump	21586	lbf
Work Done By Polished Rod	30141.9	lbf
Top Rod % Of Goodman Diagram	83.6362	percent
Top Rod Loading	85.5095	percent
Volumetric Efficiency	58.0648	percent
Actual Liquid Production Rate	234.12	STB/day
Cyclic Load Factor	1.25317	
Peak Polished Rod Load	11678.5	lbf
Minimum Polished Rod Load	1563.43	lbf
Pump Stroke Length	61.8762	in
Static Stretch	6.18225	in
Plunger OverTravel (Ep)	0.77663	in
Fluid Load (Fo)	4186.39	lbf
Weight Of Rods In Fluid (Wrf)	4315.07	lbf
Total Load (Wrf + Fo)	8501.46	lbf
Maximum Torque	167310	lb.ins
Fo/SKr	0.090025	
1/Kr	0.0014408	
CounterWeight Required (CBE)	6792.77	lbf
CounterWeight Position	28.2175	in
Damping Factor	0.1675	
Stress (Max)	19421.3	psi
Stress (Min)	2600	psi
Stress (Max Allowable)	22712.5	psi
Torsional Effectiveness (ITE)	21.7255	percent
Lift Efficiency (LE)	103.079	percent
Economic Index (EI)	120.685	