

OPTIMASI POMPA PCP DENGAN MENGGUNAKAN ANALISA SISTEM NODAL

Ganjar Hermadi *)

ABSTRAK

Progressive Cavity Pump (PCP) adalah salah satu jenis pompa yang digunakan dalam industri perminyakan sebagai alat pengangkatan buatan. PCP merupakan salah satu alternatif yang baik untuk pengangkatan buatan karena mempunyai kekompakan dan efisiensi yang tinggi dengan biaya yang rendah dibandingkan pompa lainnya.

PCP merupakan pompa yang mempunyai prinsip kerja sebagai *positive displacement pump*. PCP mempunyai dua komponen utama yang berada dibawah permukaan, yaitu rotor dan stator. Rotor berbentuk *single helix* dan berputar dalam stator yang berbentuk *double helix*. Rotor tersebut digerakkan oleh rod yang dihubungkan dengan motor yang berada di permukaan. Perputaran rotor dalam stator akan membentuk rongga yang seolah-olah bergerak ke atas dengan membawa fluida produksi ke permukaan.

Studi dalam tulisan ini menganalisa perbedaan tekanan yang dihasilkan oleh pompa PCP. Dari perbedaan tekanan pompa PCP tersebut dapat ditentukan tekanan *suction* dari pompa yang kemudian dapat diplot sebagai kurva *pump intake* dari pompa. Jika kurva *pump intake* tersebut diplot bersama kurva IPR, maka perpotongan yang dihasilkan merupakan harga laju produksi optimum dari pompa PCP tersebut.

I. PENDAHULUAN

Teknik produksi secara umum dapat dibagi menjadi dua bagian, yaitu produksi secara sembur alam (*natural flow*) dan produksi dengan metode pengangkatan buatan (*artificial lift*).

Metode produksi sembur alam biasanya terjadi pada reservoir minyak yang baru diproduksi. Hal ini dikarenakan reservoir tersebut memiliki tekanan yang cukup kuat untuk mengangkat fluidanya ke permukaan. Setelah diproduksi beberapa lama, tekanan yang dimiliki oleh reservoir akan mengalami penurunan (*decline*) dan kemampuan untuk mengangkat fluidanya pun akan menurun pula. Jika penurunan tekanan yang dialami oleh reservoir sangat besar, maka reservoir tersebut tidak dapat lagi memproduksi minyak ke permukaan. Ketika suatu sumur sudah tidak dapat lagi memproduksi minyak

secara alami, maka dibutuhkan metode pengangkatan buatan, seperti injeksi gas lift atau menggunakan pompa.

Usaha untuk mengoptimalkan produksi tersebut harus direncanakan dan dihitung dengan cermat, dan dengan mempertimbangkan komponen biaya atau keekonomian. Biaya yang dikeluarkan untuk suatu metode pengangkatan buatan harus dapat diatasi dengan jumlah produksi yang diperoleh. Dengan kekompakan dan efisiensi yang dimiliki oleh pompa PCP, maka tidak dapat diragukan lagi bahwa pompa PCP merupakan salah satu alternatif yang tepat untuk metode pengangkatan buatan.

Pemilihan pompa PCP untuk suatu sumur minyak pada umumnya adalah dengan menentukan harga laju produksi yang diinginkan, kemudian dengan menggunakan *pump performance curve* akan diperoleh harga head dan HP pompa

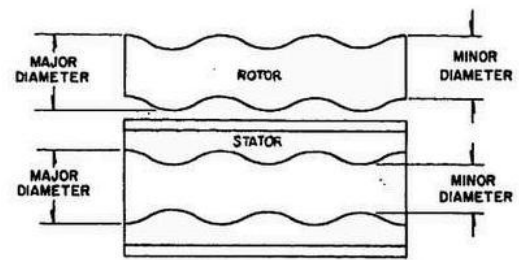
untuk suatu harga RPM tertentu. Tetapi jika $\square P$ dari pompa PCP diketahui, maka kelakuan produksi dari pompa tersebut dapat ditentukan dengan menggunakan analisa sistem nodal (*Nodal System Analysis*). Dengan menggunakan titik nodal didasar sumur, maka dapat dibuat plot kurva IPR dan *pump intake pressure*. Perpotongan kedua kurva tersebut merupakan harga produksi yang optimal dari pompa tersebut. Untuk menghitung *differential pressure* pada pompa PCP menggunakan persamaan $\square P$ pada ESP¹⁾.

II. PROGRESSIVE CAVITY PUMP (POMPA MOYNO)

Pompa PCP ditemukan oleh seorang Perancis bernama Rene' Moineau pada tahun 1920, oleh karena itu PCP juga sering disebut dengan nama "pompa Moyno". Pompa jenis ini pertama diperkenalkan oleh Robbins and Myers Inc. di California, Amerika Serikat pada tahun 1936, tapi penggunaannya masih terbatas pada industri makanan dan bahan kimia. Aplikasi PCP di dunia perminyakan baru dimulai sejak tahun 1981.

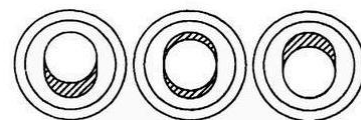
2.1 Prinsip Kerja Pompa

Sesuai dengan namanya, pompa PCP memiliki prinsip kerja dimana ruang atau *cavity* yang berpindah sepanjang stator dengan membawa cairan. PCP mempunyai dua komponen utama, yaitu rotor yang berbentuk *single helix* yang berputar di dalam stator berbentuk *double helix* dengan ukuran diameter minor yang sama, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.1 dibawah ini.



Gambar 2.1 Diameter pada rotor dan stator³⁾

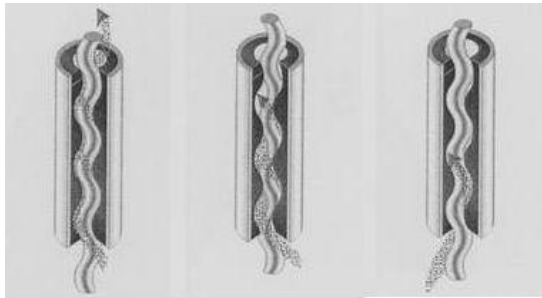
Perpaduan dari bentuk single helix rotor dan double helix stator tersebut akan membentuk suatu rongga kosong atau cavity di antara keduanya. Pada waktu rotor berputar secara eksentris di dalam stator, rongga-rongga yang terbentuk seolah-olah bergerak naik dari ujung masuk (*suction*) dan ujung keluar (*discharge*) dari pompa. Aliran fluida yang terjadi bersifat *non pulsating* dan secara kontinyu pada laju yang konstan. Hal ini disebabkan ketika rongga yang satu mengecil, rongga berikutnya akan terbentuk dengan volume (rate) yang sama dengan rongga yang mengecil sebelumnya. Volume yang terbentuk atau luas penampang rongga (cavity) selalu sama walaupun posisi rotor dalam stator berbeda-beda, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Cross sectional area pompa PCP³⁾

Putaran yang berasal dari motor di permukaan diteruskan melalui rod (stang) ke rotor yang berputar dalam stator. Dengan putaran ini, maka terbentuk rongga-rongga atau cavity. Cavity ini bergerak ke atas dengan membawa cairan dari ujung masuk ke ujung keluar pompa. Gambar 2.3 berikut memperlihatkan

rongga-rongga atau cavity yang berpindah akibat berputarnya rotor di dalam stator.



Gambar 2.3 Pergerakan rongga (cavity) pada pompa PCP⁷⁾

Sekat-sekat yang terbentuk antara rotor dan stator membuat laju fluida yang terangkat menjadi konstan, dengan demikian penambahan laju fluida sesuai dengan kecepatan putaran rotor.

2.2. Peralatan Pompa

Seperti telah disebutkan sebelumnya bahwa komponen utama dari pompa PCP adalah stator dan rotor. Gambar 2.4 menunjukkan rangkaian pompa PCP secara keseluruhan. Peralatan pompa dapat dibagi menjadi peralatan utama di bawah permukaan dan peralatan di atas permukaan, serta peralatan tambahan.

Peralatan di bawah permukaan terdiri dari :

- *Stator*
- *Rotor*
- *Rod*

Peralatan di atas permukaan terdiri dari :

- *Prime mover* (penggerak mula)
- *Drive Head*

Peralatan tambahan yang biasa digunakan :

- *Backstop brake*
- *Lo-flo Pump-off Control*
- *No turn tool*
- *Mud/gas anchor*

Tabel 2.1 Gambaran umum dari pompa PCP

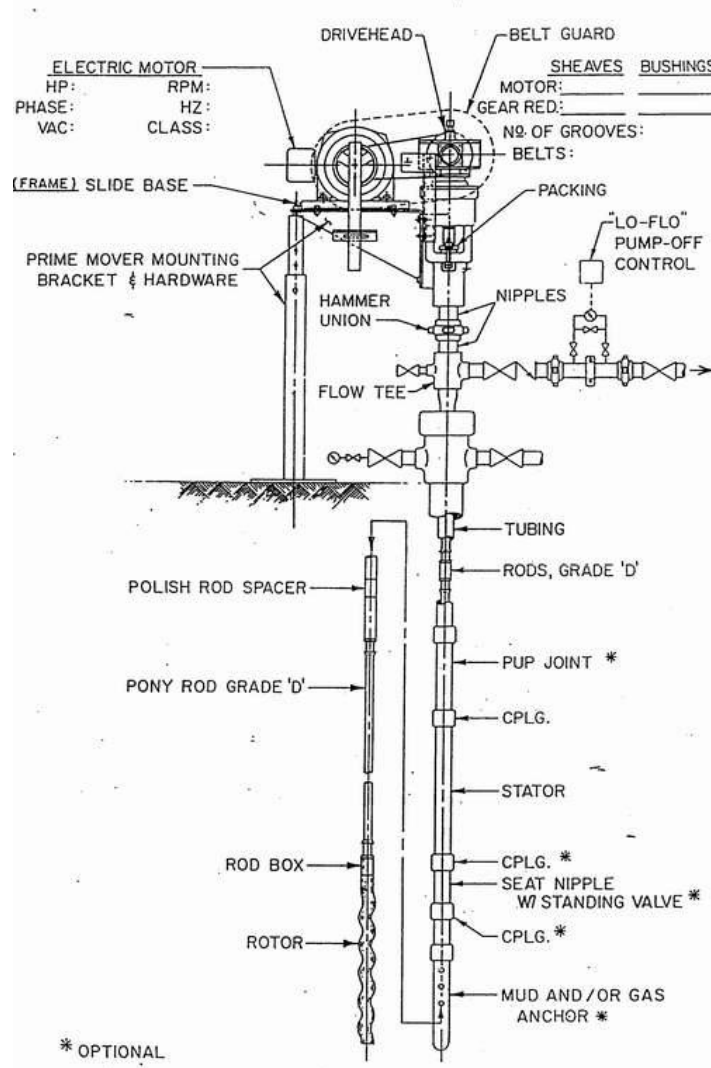
Application Considerations	Typical Range	Maximum
Operating Depth	2,000' - 4,500' TVD	6,000' TVD
Operating Volume	5 - 2,200 BFPD	4,500 BFPD
Operating Temperature	75° - 150° F	250° F
Wellbore Deviation	N/A	0 - 90° Landed Pump <15°/100 ft. Build Angle
Corrosion Handling	Fair	
Gas Handling	Good	
Solids Handling	Excellent	
Fluid Gravity	<35° API	
Servicing	Workover or Pulling Rig	
Prime Mover Type	Gas or Electric	
Offshore Application	Good	

III. ANALISA SISTEM NODAL UNTUK PERENCANAAN PCP

3.1 Inflow Performance Relationship (IPR)

Dalam memproduksi suatu sumur, baik itu sumur minyak ataupun gas, sangat diperlukan adanya informasi mengenai kelakuan dari reservoirnya.. Kelakuan reservoir biasanya ditunjukkan dengan adanya aliran (*inflow*) dari reservoir itu sendiri yang disebabkan adanya tekanan reservoir (P_r). Aliran dari reservoir kedalam lubang sumur tergantung dari *drawdown* atau *pressure drop* dalam reservoir, $P_r - P_{wf}$, dimana P_{wf} adalah tekanan alir didasar sumur (*bottomhole flowing pressure*)

Aliran dari reservoir ke lubang sumur tersebut dinamakan *inflow performance*, dan kurva yang dihasilkan antara laju produksi dengan tekanan alir dasar sumur disebut *inflow performance relationship*, atau lebih dikenal dengan istilah kurva IPR. Jadi kurva IPR merupakan kurva yang menunjukkan kelakuan produksi suatu sumur.



Gambar 2.4 Rangkain peralatan pompa PCP

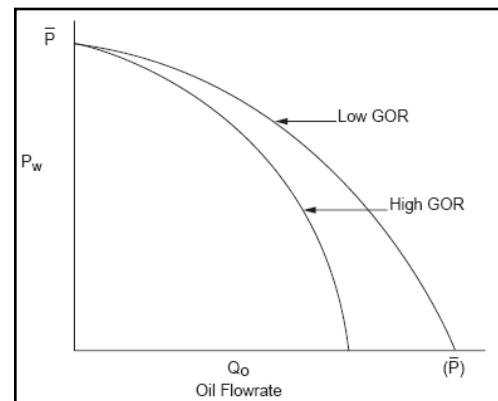
Kurva IPR ini dikembangkan dari persamaan Darcy yang mampu memprediksikan laju alir fluida, baik minyak maupun gas, dari reservoir ke lubang sumur. Secara umum persamaan Darcy dapat dituliskan sebagai berikut :

- Dalam satuan Darcy

$$q(cc / s) = - \frac{k(D)A(cm^2)}{\mu(cp)} \frac{dp}{dl} (atm / cm) \quad (3.1)$$

- Dalam satuan lapangan

$$q(stb / d) = -(konst.) \frac{k(mD)A(ft^2)}{\mu(cp)} \frac{dp}{dl} (psi / ft) \quad (3.2)$$

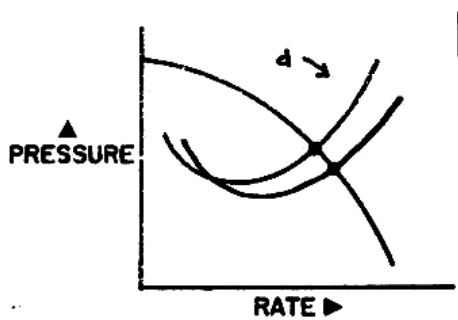


Gambar 3.1 Contoh kurva IPR

3.2 Persamaan *Differential Pressure* ($\square P$) Untuk PCP

3.2.1 $\square P$ Dalam Pipa (Tubing)

Kurva IPR sangat dibutuhkan untuk melihat kelakuan dari reservoir. Tetapi dalam memproduksi fluida dari reservoir tersebut, maka kurva IPR saja belum cukup untuk melihat atau menentukan laju produksi fluida yang dihasilkan. Oleh karena itu perlu adanya kurva lain yang diharapkan dapat berpotongan dengan kurva IPR sehingga dapat diketahui satu titik yang menunjukkan harga laju produksi dan harga tekanan alir dasar sumur yang diinginkan. Kurva tersebut biasa disebut kurva sensitivitas atau kurva intake seperti yang terlihat pada Gambar 3.2.

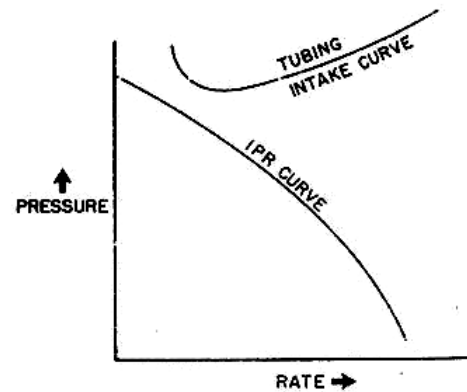


Gambar 3.2 Kurva sensitivitas IPR dan tubing intake¹⁾

3.2.2 $\square P$ Dalam Pompa

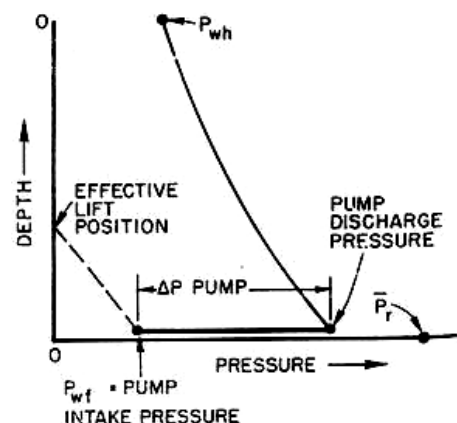
Jika kurva IPR dan kurva tubing intake tidak berpotongan seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3.3, maka hal tersebut menandakan bahwa sumur tersebut sudah tidak memproduksi secara alamiah lagi, atau sering disebut dengan sumur mati. Jika suatu sumur tidak dapat memproduksi lagi, maka hal tersebut dapat disebabkan oleh banyak faktor, tapi pada umumnya hal tersebut diakibatkan karena tekanan alir dasar sumur sudah mengalami penurunan sehingga tidak mampu lagi untuk mengangkat fluida ke permukaan. Pada saat itulah diperlukan

adanya pengangkatan buatan (*artificial lift*) untuk mengangkat sisa fluida yang masih ada di dalam sumur.



Gambar 3.3 Kurva IPR dan tubing intake pada sumur mati¹⁾

Pompa dalam artificial lift digunakan untuk mengangkat fluida yang sudah tidak dapat dialirkan lagi oleh tekanan didalam sumur ke permukaan. *Differential pressure* ($\square P$) yang dihasilkan pompa akan digunakan oleh fluida dari dasar sumur untuk naik ke permukaan. Makin besar $\square P$ yang dihasilkan oleh pompa, makin banyak fluida yang akan terangkat. Pengaruh pompa pada sumur yang telah mati tersebut dapat dilihat dari skema seperti pada Gambar 3.4 berikut.



Gambar 3.6 Skema pengaruh tekanan pompa ($\square P_p$) pada sumur mati¹⁾

Dari skema diatas terlihat bahwa tekanan alir dasar sumur tidak dapat lagi

mengangkat fluida, sehingga ketika dipasang pompa sebesar ΔP_p fluida dapat terangkat kembali ke permukaan.

Persamaan *differential Pressure* (ΔP)¹ pada pompa yang akan digunakan disini dipengaruhi oleh head pompa, gradien fluida didalam pompa, dan jumlah stage yang dimiliki oleh pompa, dapat dinyatakan sebagai berikut :

(tekanan yang dihasilkan pompa) = (head per stage) x (gradien fluida) x (jumlah stage)

Dengan menyatakan bahwa $\Delta P = P_{out} - P_{in}$, maka pernyataan diatas dapat ditulis dalam bentuk matematis sebagai berikut :

$$dP = h(V) \times G_f(V) \times d(St) \quad (3.4)$$

dimana :

dP = perbedaaan tekanan yang dihasilkan pompa, psi

h = head per stage, ft/stage

G_f = gradien fluida dalam pompa, psi/ft

$d(St)$ = jumlah stage

h dan G_f merupakan fungsi dari kapasitas, V

Pada table *Down-Hole Pump Productline*, pompa PCP memiliki jumlah stage yang sudah tetap. Oleh karena itu $d(St)$ pada persamaan (3.4) diatas menjadi konstan, sehingga persamaan akhir ΔP pompa untuk PCP menjadi sebagai berikut :

$$\Delta P_p = H(V) \times G_f(V) \quad (3.5)$$

dimana :

$$G_f(V) = \left(\frac{0.433}{350} \right) \frac{\rho_{fsc}}{VF} \quad (3.12)$$

3.3 Prosedur Perhitungan Pump Intake untuk PCP

Pengolahan data yang dilakukan adalah dengan melakukan iterasi tekanan

dari suction pompa PCP. Adapun prosedur perhitungan untuk menentukan pump intake dari pompa PCP adalah sebagai berikut :

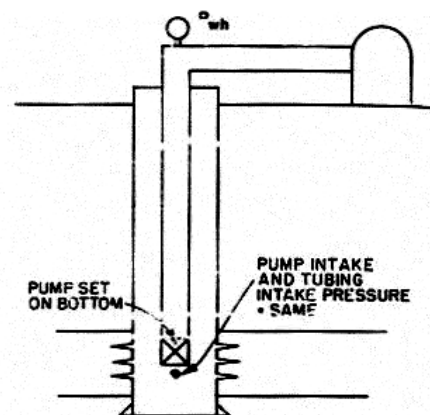
1. Membuat kurva IPR dari data sumur yang tersedia. Kurva ini sangat penting karena akan menunjukkan karakteristik dan kelakuan dari reservoir itu sendiri.
2. Menentukan kehilangan tekanan sepanjang tubing dengan menggunakan kurva pressure traverse dari data sumur yang tersedia, sehingga didapatkan harga penurunan tekanan untuk setiap laju alir tertentu. Kemudian data tersebut diplot untuk menghasilkan kurva tubing intake. Jika kurva tubing intake tidak berpotongan dengan kurva IPR (kurva tubing intake diatas kurva IPR), maka hal itu menandakan bahwa sumur tersebut memerlukan pengangkatan buatan.
3. Menentukan tipe pompa PCP yang akan digunakan, berdasarkan kedalaman dari lubang sumur, yang disesuaikan dengan kemampuan angkat (*lifting capacity*) pompa dari tabel Moyno Down-Hole Pump Productline. Sebagai contoh adalah tipe pompa PCP 50-N-340, dimana angka 50 menunjukkan kemampuan pengangkatan sedalam 5000 ft, N menunjukkan volume fluida yang diangkat (Low, Nominal, High Volume), sedangkan angka 340 menunjukkan kapasitas fluida yang dapat diproduksi tiap harinya untuk putaran pompa sebesar 100 RPM.
4. Menentukan range (selang data) pada kurva performa pompa dari tipe pompa yang telah ditentukan diatas untuk tiap RPM-nya. Selang data yang diambil adalah harga laju alir, q untuk harga head sepanjang kurva RPM. Untuk mempermudah pengambilan data dari kurva performa pompa, maka dilakukan interpolasi pada kurva tersebut untuk setiap RPM.

5. Mensesuaikan selang data laju alir yang diambil dari kurva performa pompa dengan selang data dari tubing intake pada butir (1) diatas. Untuk mempermudah perhitungan, maka selang data yang sesuai dari tubing intake tersebut diinterpolasi.
6. Data tekanan dari tubing intake dengan laju alir yang sama dengan laju alir dari kurva performa pompa diasumsikan sebagai tekanan discharge (P_{out}) dari pompa (diasumsikan bahwa panjang pompa PCP, rotor + stator, dapat diabaikan dibandingkan dengan kedalaman lubang sumur).
7. Dengan menganggap suatu harga $\square P$ pompa ($\square P_{ass}$), maka tekanan suction (P_{in}) dari pompa akan didapat dengan persamaan $P_{in} = P_{out} - \square P_{ass}$.
8. Selanjutnya menghitung $\square P$ pompa dengan persamaan (3.4) diatas. Sifat fisik fluida yang mengalir didalam pompa (Z , B_o , B_g dan R_s) dihitung menggunakan korelasi dengan kondisi tekanan rata-rata (P_{ave}) dari pompa, $(P_{in} + P_{out})/2$, dan temperatur laju alir di dasar sumur.
9. Perbedaan tekanan pompa, $\square P$ yang didapat dari butir (7) tersebut dibandingkan dengan $\square P_{ass}$ pompa pada butir (6) diatas. Jika hasilnya berbeda maka dilakukan itersi dengan cara memasukkan harga $\square P$ tersebut kedalam persamaan $P_{in} = P_{out} - \square P$ sampai didapat harga $\square P$ atau P_{in} yang sama dengan perhitungan sebelumnya. P_{out} yang digunakan disini tetap, yaitu tekanan dari tubing intake.
10. Tekanan suction pompa (P_{in}) yang telah didapat merupakan tekanan alir dasar sumur (P_{wf}) dengan asumsi bahwa WFL (*working fluid level*) berada diatas sumur sehingga pompa dipasang tepat didepan reservoir.

11. Selanjutnya dapat dibuat kurva pump intake antara P_{wf} terhadap q_{sc} yang memperlihatkan kemampuan angkat pompa PCP pada RPM tertentu. Jika kurva pump intake tersebut digabung dengan kurva IPR, maka perpotongan kedua kurva tersebut merupakan laju alir pompa PCP pada kondisi sumur.

3.4 Analisa Sistem Nodal untuk Pompa

Analisa sistem nodal menggunakan titik-titik nodal yang berfungsi sebagai pembatas antara sistem *inflow* dengan sistem *outflow*. Pembagian menjadi dua bagian sistem akan mempermudah dalam menganalisa bagian-bagian sumur dari sistem tersebut. Dalam tugas akhir ini titik nodal yang dipilih adalah pada dasar lubang sumur. Dengan asumsi bahwa *working fluid level* (WFL) dari fluida reservoir tepat berada di dasar lubang sumur maka pompa yang dipasang adalah didepan reservoir. Gambar 3.7 berikut memperlihatkan pompa yang dipasang tepat di depan reservoir dengan titik nodal didasar sumur.



Gambar 3.7 Skema pompa yang dipasang di dasar sumur¹⁾

Dengan titik nodal yang berada pada dasar sumur, maka sistem inflow merupakan sistem aliran fluida dari reservoir saja (aliran melalui media berpori) dan sistem outflow adalah aliran

fluida di dalam pompa dan tubing. Kurva yang dihasilkan dari kedua sistem diatas adalah kuva IPR dan pump intake, dengan tekanan yang sama pada sistem ini adalah tekanan pada dasar sumur, yaitu tekanan alir dasar sumur (P_{wf}) sehingga plot dari kedua kurva tersebut adalah P_{wf} terhadap q .

IV. PENGGUNAAN ANALISA SISTEM NODAL DALAM PERENCANAAN PCP

4.1 Persiapan Data

Data yang digunakan pada tulisan ini adalah data hipotesis, yaitu data sumur dengan kedalaman 5000 ft.. Data selengkapnya untuk kedua sumur tersebut adalah sebagai berikut :

Tabel 4.1 Data sumur

Parameter	
Kedalaman sumur, ft	5000
Diameter casing, in	7
Diameter tubing, in	2 7/8
Tekanan wellhead, psi	120
Temperatur wellhead, °F	110
°API	35
Specific Gravity minyak	0.85
Specific Gravity gas	0.65
Specific Gravity air	1.074
Water cut, %	75
Gas Oil Ratio, scf/stb	400
Tekanan bubble point, psi	1700
Tekanan reservoir, psi	1800
Productivity Index, stbl/d/psi (diatasPb)	1.3889
Laju alir maksimum, stbl/d	2500
Temperatur alir, °F	150

4.1 Hasil Perhitungan

Pompa PCP yang digunakan pada data sumur adalah model 50-N-340. Contoh perhitungan dibawah ini adalah untuk pompa PCP model 50-N-340 dengan putaran pompa pada 200 RPM.

Sedangkan untuk putaran pompa pada 400 RPM dan 600 RPM akan dituliskan hasil akhir perhitungannya saja.

A. 200 RPM

- Membuat kurva IPR
Dengan mengasumsikan beberapa nilai P_{wf} , tentukan laju alir dengan persamaan :

$$q_{sc} = J (P_r - P_{wf})$$

$$= 1.3889 \times (1800 - P_{wf})$$

- Pemilihan pompa PCP
Berdasarkan data kedalaman dari sumur sedang (5000 ft), maka dipilih pompa PCP dengan model 50-N-340. Model ini dipilih karena laju produksi yang dapat dihasilkan cukup besar, yaitu 340 BFPD untuk 100 RPM.
- Melakukan interpolasi data pada pump performance curve.

Selang data laju alir sepanjang kurva 200 RPM pada pump performance curve model 50-N-340 (Lampiran B.III) adalah 456 – 675 BFPD. Persamaan hasil interpolasinya adalah sebagai berikut :

$$H = -0.1274(V)^2 + 115.92(V) - 20232$$

- Melakukan interpolasi data pada tubing intake

Selang data laju alir tubing intake yang sesuai dengan laju alir pada pompa diatas adalah antara 400 – 800 stbl/d dengan selang tekanan antara 1800 – 1760 psi. Persamaan hasil interpolasi selang data tubing intake diatas adalah :

$$P_{out} = -0.1(q)^2 + 1840$$

Dengan menganggap tekanan tubing intake sebagai tekanan discharge (P_{out}) dari pompa. asumsikan $\square P$ pompa ($\square P_{ass}$) sebesar 1000 psi, maka didapatkan tekanan suction (P_{in}) untuk pompa untuk berbagai harga laju alir, q .

Tabel 4.2 Hasil perhitungan P_{in} pompa untuk selang data q yang sama

q_{sc} , stbl/d	P_{wh} , psi	P_{out} , psi	$\square P_{ass}$, psi	P_{in} , psi
500	120	1790	1000	790
520	120	1788	1000	788
540	120	1786	1000	786
560	120	1784	1000	784
580	120	1782	1000	782
600	120	1780	1000	780
620	120	1778	1000	778
630	120	1777	1000	777
640	120	1776	1000	776
660	120	1774	1000	774
680	120	1772	1000	772
700	120	1770	1000	770

- Melakukan perhitungan $\square P$ pompa
Perhitungan $\square P$ pompa ($\square P_p$) dengan langkah-langkah perhitungan sebagai berikut :

- Contoh perhitungan untuk $q = 600$ stbl/d, tentukan tekanan rata-rata (P_{ave}) dari P_{out} dan P_{in} pompa :

$$\begin{aligned} P_{ave} &= (P_{out} + P_{in})/2 \\ &= (1780 + 780)/2 \\ &= 1280 \text{ psi} \end{aligned}$$

- Tentukan factor volume, VF dengan menghitung terlebih dahulu sifat fisik dari fluida (Z , B_o , B_g , dan R_s) dengan menggunakan korelasi pada tekanan rata-rata (P_{ave}) dan temperatur alir sumur.

$$\begin{aligned} \text{Dari data : } P_{ave} &= 1280 \text{ psi} \\ T &= 150 \text{ }^\circ\text{F} \end{aligned}$$

Dengan menggunakan korelasi didapatkan :

$$\begin{aligned} Z &= 0.8762 \\ B_o &= 1.1416 \text{ bbl/STB} \\ R_s &= 258.887 \text{ scf/bbl} \\ B_g &= 0.000517 \text{ cu-ft/scf} \\ VF &= wc + (1 - wc)B_o + \\ &\quad GIP\{GLR - (1 - wc)R_s\}B_g \\ &= 0.75 + (0.25)(1.1416) + \\ &\quad 1[100 - (0.25)(258.887)](0.000517) \\ &= 1.05367 \text{ bbl/STB} \end{aligned}$$

- Menghitung kapasitas, V dengan menggunakan persamaan (3.10)

$$\begin{aligned} V &= q_{sc} \times VF \\ &= (600)(1.05367) \\ &= 632.2004 \text{ bbl/d} \end{aligned}$$

- Menghitung $H(V)$ dengan menggunakan persamaan interpolasi pada poin keempat diatas

$$\begin{aligned} H &= -0.1274(V)^2 + 115.92(V) - 20232 \\ &= -0.1274(632.2004)^2 + \\ &\quad 115.92(632.2004) - 20232 \\ &= 2133.775 \text{ ft} \end{aligned}$$

- Menghitung $G_f(V)$ dengan menggunakan persamaan (3.12)

$$\begin{aligned} \square_{gsc} &= 0.0763 \square_{gsc} \\ &= 0.0763(0.65) \\ &= 0.0534 \text{ lb/scf} \\ \square_{fsc} &= 350wc \square_{wsc} + 350(1 - \\ &\quad wc) \square_{osc} + GIP(GLR) \square_{gsc} \\ &= 350(0.75)(1.074) + \\ &\quad 350(0.25)(0.85) + 1(100)(0.0534) \\ &= 361.64 \text{ lb/stbl} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} G_f(V) &= \left[\frac{0.433}{350} \right] \frac{\rho_{fsc}}{VF} \\ &= 0.42461 \text{ psi/ft} \end{aligned}$$

- Hitung $\square P$ pompa ($\square P_p$) dengan menggunakan persamaan (3.13)

$$\begin{aligned} \square P_p &= H(V) \times G_f(V) \\ &= (2133.775)(0.42461) \\ &= 906.0274 \text{ psi} \end{aligned}$$

- Tabel berikut adalah perhitungan untuk iterasi pertama, dimana baris yang diberi warna hitam merupakan baris yang tidak dapat digunakan lagi dalam perhitungan selanjutnya, karena $\square P_p$ atau P_{in} pada baris ini mempunyai nilai negatif.

- Melakukan iterasi untuk P_{in} pompa
 $\square P_p$ pada perhitungan diatas belum sama dengan $\square P$ asumsi, maka dilakukan iterasi dengan memasukkan kembali harga $\square P_p$ atau P_{in} tersebut pada perhitungan selanjutnya. Hasil

perhitungan dan iterasi selengkapnya untuk pompa PCP model 50-N-340, 200 RPM dapat dilihat pada table 4.4.

Buat kurva q_{sc} vs P_{in} sebagai sensitivitas terhadap kurva IPR (gambar 4.1)

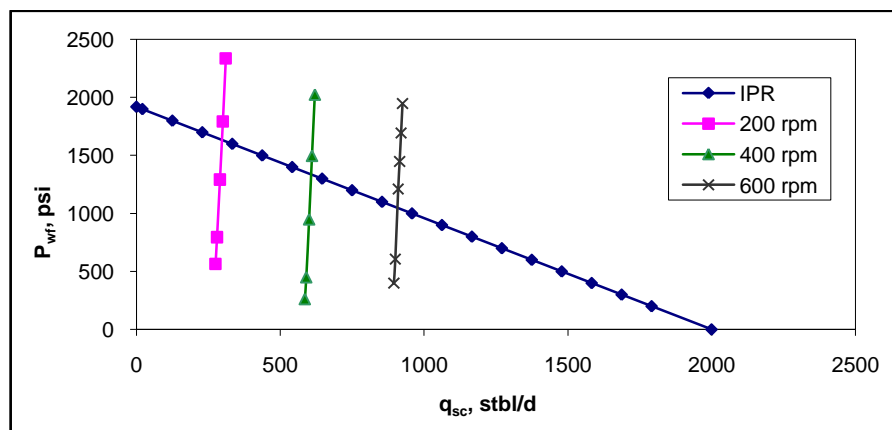
- Membuat kurva pump intake

Tabel 4.3 Hasil perhitungan P_{in} pompa pada iterasi pertama

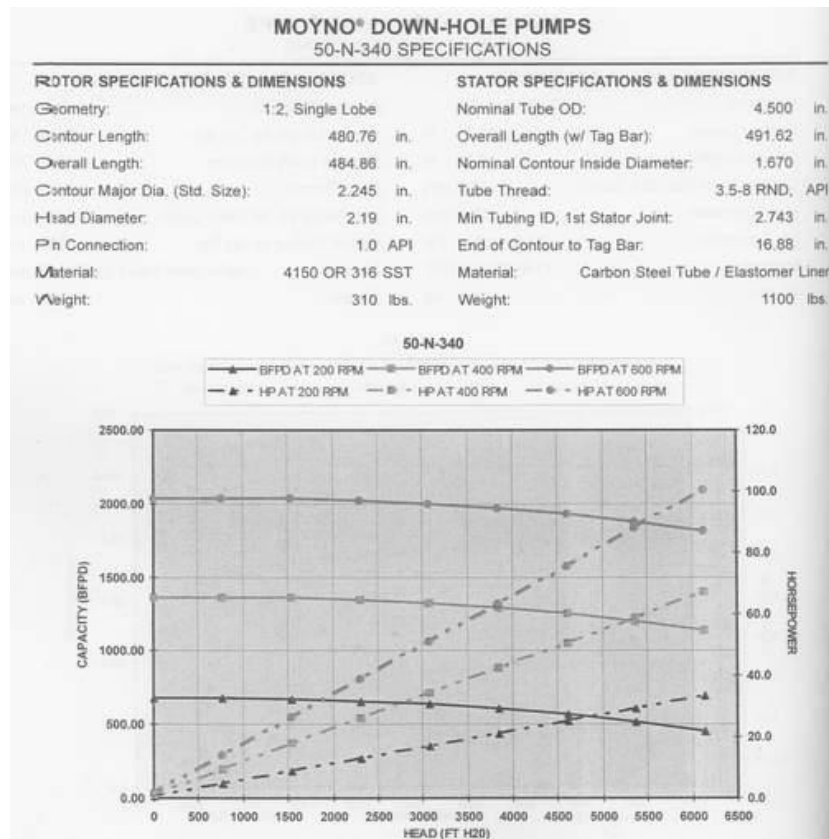
q_{sc} (stbl/d)	P_{out} (psi)	P_{in} (psi)	P_{ave} (psi)	VF (bbl/STB)	V (bbl/d)	H(V) (ft)	$G_f(V)$ (psi/ft)	$\square P_p$ (psi)	P_{in} (psi)
500	1790	790	1290	1.05346	526.7279	5480.152	0.42470	2327.408	-537.408
520	1788	788	1288	1.05350	547.8187	5037.725	0.42468	2139.426	-351.426
540	1786	786	1286	1.05354	568.9113	4481.905	0.42466	1903.304	-117.304
560	1784	784	1284	1.05358	590.0058	3812.66	0.42465	1619.035	164.9653
580	1782	782	1282	1.05362	611.1022	3029.961	0.42463	1286.612	495.3885
600	1780	780	1280	1.05367	632.2004	2133.775	0.42461	906.0274	873.9726
620	1778	778	1278	1.05371	653.3006	1124.071	0.42460	477.275	1300.725
630	1777	777	1277	1.05373	663.8514	576.64	0.42459	244.8335	1532.167
640	1776	776	1276	1.05375	674.4027	0.817514	0.42458	0.347098	1775.653
660	1774	774	1274	1.05380	695.5068	-1236.02	0.42456	-524.764	2298.764
680	1772	772	1272	1.05384	716.6129	-2586.47	0.42454	-1098.06	2870.065
700	1770	770	1270	1.05389	737.721	-4050.57	0.42452	-1719.56	3489.564

Tabel 4.4 Hasil perhitungan P_{in} pompa pada iterasi terakhir untuk model 50-N340 @ 200 RPM

q_{sc} , stbl/d	P_{out} , psi	H(V), bbl/STB	$G_f(V)$, psi/ft	$\square P_p$, psi	P_{in} , psi
560	1784	3633.755	0.42101	1529.833	254.1668
580	1782	2951.978	0.42328	1249.515	532.4849
600	1780	2156.328	0.42495	916.3288	863.6712
620	1778	1224.484	0.42590	521.5037	1256.496
630	1777	698.8732	0.42607	297.7677	1479.232
640	1776	240.6323	0.42732	102.8275	1673.173



Gambar 4.1 Plot pump intake model 50-N340



Gambar 4.2 Kurva performa pompa PCP

DAFTAR PUSTAKA

- Brown, K. E., *"The Technology of Artificial Method"*, Volume 4, The Petroleum Publishing Co., Tulsa Oklahoma, 1980.
- Beggs, H. D., *"Production Optimization Using Nodal Analysis"*, Oil & Gas Consultants International Inc. Publications, Tulsa, 1991.
- Saveth, Kenneth J., Klein, Steven T., *"The Progressing Cavity Pump : Principle and Capabilities"*, SPE Paper 18873, presented at the SPE Production Operation symposium held in Oklahoma City, March 13 – 14, 1989.
- _____, *"Moyno Down-Hole Pump Systems"*, Robbins & Myers, Inc., 1998

^{*)} Penulis adalah Pejabat Fungsional Widyaiswara Pusdiklat Migas.