

Peran Penting Perencanaan Kompleksi Formasi dalam Keberhasilan Kompleksi Sumur

Agus Alexandri

Abstract

Setelah suatu sumur dikatakan ekonomis maka sumur tersebut akan dikembangkan menjadi sumur produksi, tahap akhir sebelum sumur tersebut menjadi sumur produksi adalah tahap penyelesaian sumur atau *well completion*.

Secara garis besar *well completion* dapat dibagi menjadi tiga bagian, yaitu *formation completion*, *tubing completion* dan *wellhead completion*, adapun kriteria *well completion* yang baik ditinjau dari masalah yang dihadapi setiap bagian *well completion* seperti pada *formation completion* yang digunakan untuk mengatasi masalah masalah yang ditimbulkan oleh sifat sifat dari formasi produktifnya.

Faktor yang perlu dipertimbangkan dalam pemilihan *formation completion* adalah produktivitas formasi, kestabilan formasi serta kekompakan batuan. Pada perencanaan *formation completion* untuk *open hole* perlu memperhitungkan laju penembusannya seperti *fully* atau *partially*. Pada *perforated completion* perlu memperhitungkan interval dan posisi perforasi, densitas dan diameter perforasi

I. Latar Belakang Masalah

Setelah operasi pemboran mencapai target yang ditentukan maka langkah selanjutnya adalah pelaksanaan operasi produksi. Tahap awal dimuainya suatu operasi produksi adalah dengan dilaksanakannya tahap penyelesaian sumur (*Well Completion*).

Well Completion adalah pekerjaan tahap akhir atau pekerjaan penyempurnaan untuk mempersiapkan suatu sumur pemboran menjadi sumur produksi.. Penyelesaian sumur bertujuan untuk mengoptimalkan produksi dari reservoir permukaan dengan menekan kemungkinan adanya problem produksi semaksimal mungkin baik pada masa *natural flow* maupun pada saat *artificial lift* diterapkan. Dengan pertimbangan ini maka dalam pene-

rapan metode *well completion*, kemungkinan penerapan metode produksi dimasa yang akan datang serta operasi perbaikan formasi dan sumur (*work over*, stimulasi dan reparasi sumur) perlu dipertimbangkan

Untuk mendapatkan produksi yang optimum dari reservoir dengan meminimumkan problem produksinya, maka dibutuhkan penerapan metode *well completion* yang tepat dengan mempertimbangkan faktor-faktor yang mempengaruhinya. Faktor faktor yang menjadi dasar pertimbangan penerapan metode *well completion* ini dapat dibagi berdasarkan jenis-jenis metode *well completion* yang meliputi pertimbangan penerapan *formation completion*, *tubing completion* dan *well head completion*.

Dalam mempertimbangkan faktor faktor yang mempengaruhi penerapan metode penyelesaian sumur ini maka karakteristik dari reservoir menjadi pertimbangan utamanya, karena fluida hidrokarbon selalu berasosiasi dengan suatu reservoir, baik meliputi jenis-jenis reservoirnya maupun sifat batuan dan fluidanya, seperti pada pemilihan formation completion yang lebih berpengaruh dalam pemilihannya adalah faktor sementasi atau kekompakan batuan yang selanjutnya akan dipakai jenis *open hole* atau *perforated completion*.

Pe : tekanan formasi pada jarak re dari sumur, psi

Pwf : tekanan dasar sumur, psi

μ_o : viscositas minyak, cp

Bo : faktor volume formasi minyak, STB/bbl

rw : jari-jari sumur, ft

re : jari-jari pengurasan, ft

Fully penetrating well umumnya diterapkan pada sumur dengan mekanisme pendorong reservoir berupa *depletion drive* dimana tidak ada akumulasi air ataupun gas.

II. Perencanaan Formation Completion

2.1. Open Hole Completion

Perencanaan dan perhitungan yang ada pada kompleksi ini didasarkan pada penempatan kompleksinya dalam formasi produktif, yaitu penembusan sebagian dan total.

1. Perhitungan Laju Produksi Pada Fully Penetrating

Tingkat pemboran di dalam formasi sangat berpengaruh terhadap besarnya laju produksi yang dihasilkan. *Fully penetrating well* merupakan sumur dimana pemboran menembus seluruh ketebalan formasi produktif.

Untuk kondisi ini dimana aliran fluida membentuk aliran radial, maka penentuan rate dengan menggunakan persamaan yang dikemukakan oleh Darcy, sebagai berikut :

$$q = \frac{7,082 \cdot k \cdot h \cdot (P_e - P_{wf})}{\mu_o \cdot B_o \cdot \ln(re / r_w)} \dots\dots (1)$$

dimana :

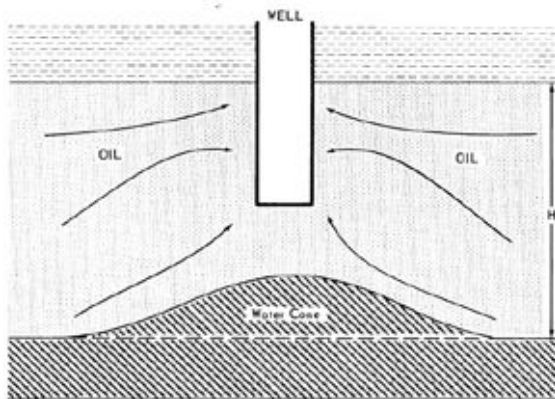
q : rate produksi, BPD

k : permeabilitas efektif minyak, md

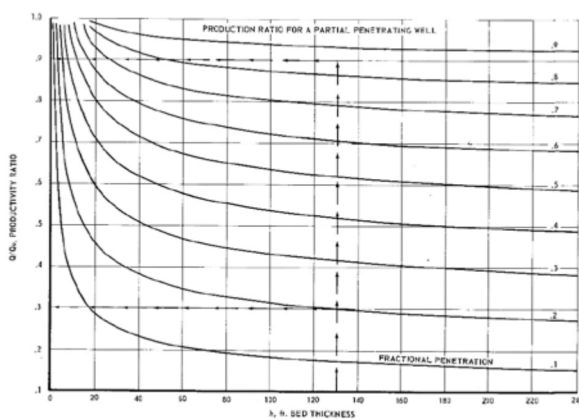
h : ketebalan formasi produktif, ft

2. Perhitungan Rate Produksi Pada Partially Penetrating

Partially Penetrating well merupakan sumur dengan lubang bornya hanya mencapai sebagian dari ketebalan formasi produktif. Muskat menyatakan bahwa kepasiran produksi pada *partially penetrating well* adalah berbanding lurus terhadap fraksi penembusan dari ketebalan total formasi produktif. Gambar 2. menunjukkan untuk ketebalan formasi sebesar 130 ft dengan fraksi penetrasi 0,2 (926 ft) dan 0,8 (110 ft) akan didapatkan *productivity ratio* (PR) masing-masing adalah 30 % sampai 90 %. Dengan kata lain sumur dengan kedalaman penetrasi 110 ft akan mempunyai kapasitas produksi tiga kali lebih besar bila dibandingkan dengan sumur yang mempunyai kedalaman penetrasi 26 ft.



Gambar 1. Partially Penetrating Well Water Drive



Gambar 2. Produktivity Ratio Pada Partially Penetrating Well

Penerapan *partially penetrating well* biasanya pada *reservoir water drive* untuk menghindari produksi air yang tinggi. Pada *partially penetrating* ada beberapa pengaruh diantaranya adalah :

1. Pengaruh *Coning*

Adanya pengaruh *coning* dalam hubungannya dengan *partial penetrasi* akan mengganggu efisiensi pengurusan sumur. Tinggi dari *cone* akan bertambah dengan bertambahnya tekanan *drow-down* sumur. Tekanan *drow-down* maksimum tanpa menyebabkan air masuk ke dalam sumur dapat diperkirakan sebagai berikut :

$$P_{\max} = 0,433 (\rho_w - \rho_o) h_{\max} \dots\dots\dots (4)$$

Bila selisih *specific gravity* dari fluida reservoir adalah 0,30 dan jarak vertikal antara dasar

sumur dengan batas air-minyak awal adalah 10 ft, maka P_{\max} akan didapatkan sekitar 1,00 psi. dengan demikian untuk suatu sumur dengan produktivity index 10 STB/hari/psi, aliran maksimal tanpa menyebabkan air masuk ke dalam sumur adalah sekitar 13 BPD.

2. Pengaruh berkurangnya tekanan dasar sumur (P_{wf})

Tekanan dasar sumur pada *partially penetrating* adalah lebih kecil daripada kondisi *totally penetrating*. Hal ini disebabkan adanya *skin damage* (*pseudo skin damage*).

3. Pengaruh *Skin Damage*

Adanya perubahan aliran fluida secara radial menjadi *spherical* karena pengaruh *partial penetration* ini, akan menyebabkan bertambahnya *pressure drop* di sekitar lubang bor yang dinyatakan sebagai *extra skin faktor*.

2.2. Perforated Completion

Didalam perhitungan *perforated casing completion* yang paling utama adalah menentukan interval perforasi, densitas perforasi dan diameter perforasi. Perhitungan ini dimaksudkan untuk mencegah gas atau *water coning* juga dapat menentukan besar atau kecilnya *rate* produksi yang diinginkan.

2.2.1. Pelaksanaan Perforator dan Peralatan Perforasi

Peralatan perforasi terangkum dalam suatu perforator gun.

Bulet Perforator

Gambar (3) memperlihatkan alat perforasi jenis ini. Komponen utama dari *bullet perforator* meliputi :

- Fluida *seal disk* yang menahan masuknya fluida sumur ke dalam alat dimana dapat melemahkan kekuatan membakar *powder*.
- *Gun barrel*
- *Gun body*, dimana barrel disekrupkan

dan juga untuk menempatkan sumbu (*igniter*) dan propellant dengan *shear disk* didasarnya, untuk memegang *bullet* ditempatnya sampai tekanan maksimum tercapai karena terbakarnya *powder*.

- *Bullet*
- *Thead sell*
- *Shear Disk*
- *Powder Centrifuge*
- *Contact-pin Assembly*
- *Back Contact Spring*

Prinsip kerja *bullet perforator* karena arus listrik melalui *wireline* timbul pembakaran pada propellant dalam *centrifuge-tube* sehingga terjadi ledakan yang melontarkan *bullet* dengan kecepatan tinggi.

Keuntungannya :

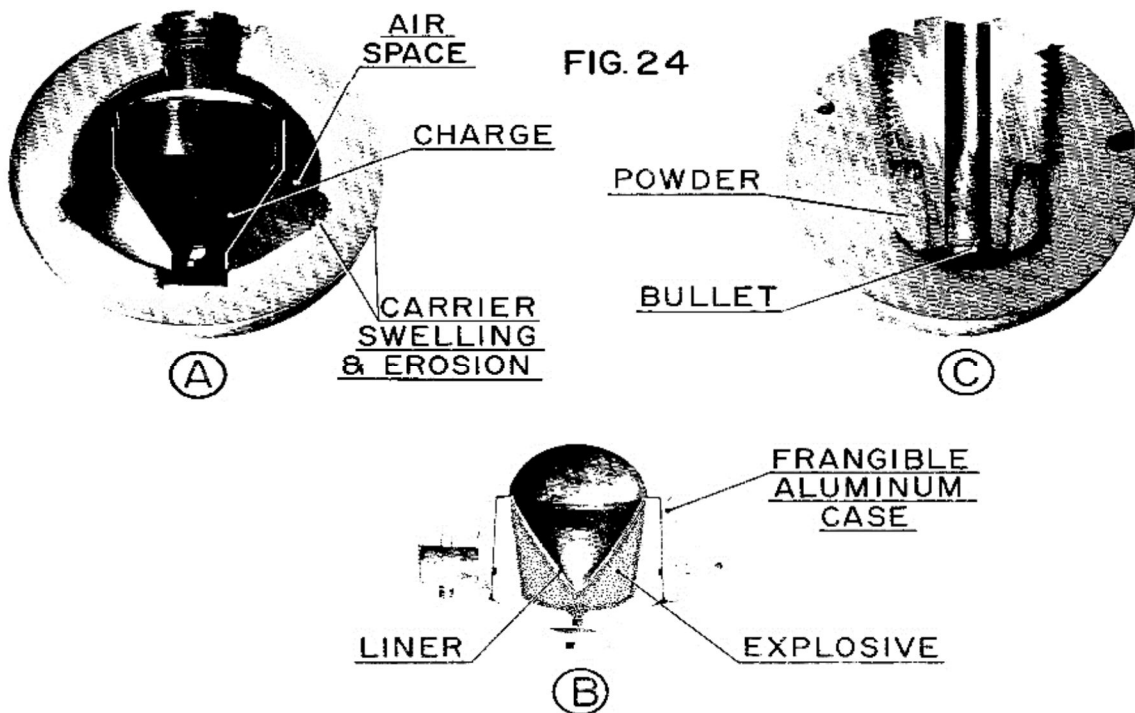
1. *Bullet* lebih murah dan mudah dari *jet perforator*
2. *Bullet* menyebabkan perekahan formasi yang dapat dipakai pada formasi yang

tebal

3. Perforasi yang dihasilkan bersifat "*burstless*" (rata pada bagian dalam) serta lubang berbentuk bulat, dengan kondisi ini maka sebagian perforasi dapat ditutup dengan klep-klep bola/*ball sealer* sementara waktu diperlukan
4. *Bullet* cocok untuk formasi lunak, dimana ia dapat menebus lebih dalam dibanding *jet*

Keterbatasannya

1. Efek *fracturing* dapat merugikan bila lapisan produktif tipis-tipis dan air atau fluida formasi lainnya ikut terproduksi pula
2. *Bullet* tidak dapat digunakan untuk temperatur yang tinggi, lebih dari 250 °F
3. *Bullet* sukar menembus formasi yang keras, dan untuk casing yang terlalu tebal/berlapis-lapis
4. *Bullet* yang ukuran kecil tidak memberikan hasil yang baik



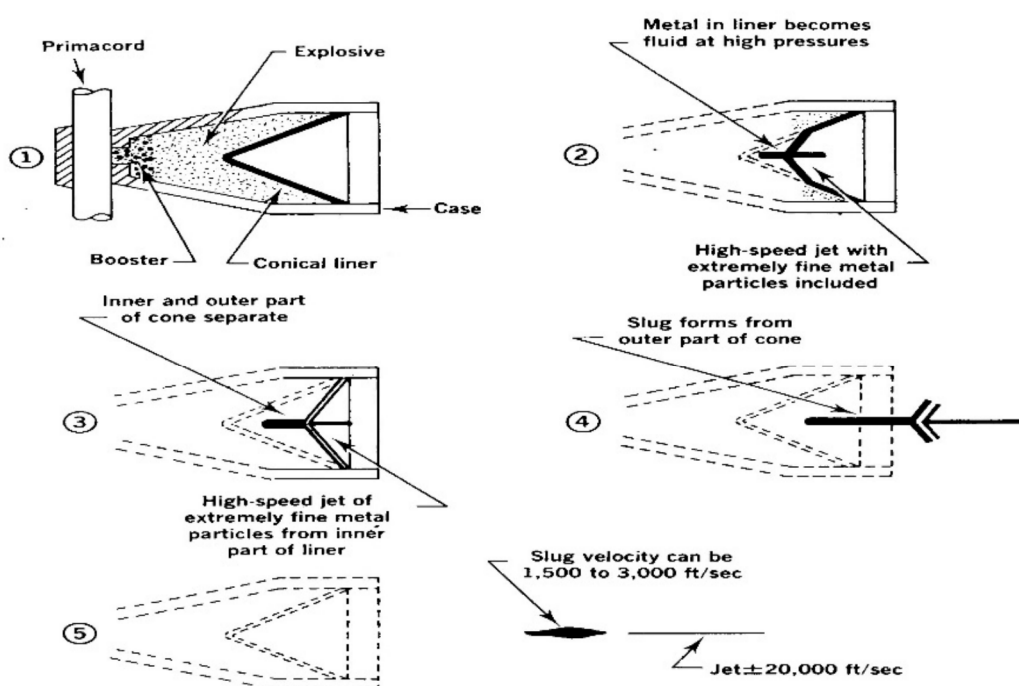
Gambar 3. Kontruksi *Bullet Perforator*

Jet Perforator

Proses perforasi dengan *jet perforator* dilakukan dalam Gambar 4. *Detonator listrik* memulai reaksi berantai dimana berturut-turut meledakkan *primacord*, *booster* berkecepatan tinggi di dalam *charge* dan akhirnya peledak utama. Tekanan tinggi yang dihasilkan oleh bahan peledak menyebabkan logam di dalam *charge liner* mengalir, memisahkan *inner* dan *outer liner*. Pembentukan tekanan lebih lanjut pada *liner* menyebabkan suatu dorong-

an jet berkecepatan tinggi dan menyebabkan suatu dorongan jet berkecepatan tinggi dan partikel-partikel yang dimuntahkan dari cone pada kecepatan sekitar 20.000 ft/sec.

Selubung terluar *liner* rusak untuk membentuk suatu gerakan aliran metal yang rendah dengan kecepatan antara 1500 dan 3000 psi. Sisa *outer liner* ini mungkin dapat membentuk slug tunggal yang disebut sebagai aliran partikel-partikel logam.



Gambar 4. Prinsip Kerja Jet Perforator

Keuntungannya

1. Dapat digunakan untuk temperatur sampai 400 °F
2. Rekahan yang terjadi tidak terlalu besar sehingga cocok untuk formasi yang tipis
3. Lebih banyak tembakan yang dapat dilakukan untuk sekali penurunan gun ke dalam sumur, sehingga untuk formasi dengan interval yang panjang akan lebih baik dan murah.

4. *Jet perforator* menembus formasi keras tapi baik
5. Untuk operasi dalam tubing (*permanent type completion*) hanya jet yang cocok karena alat untuk bullet memerlukan diameter yang besar agar peluru cukup besar diameternya

Keterbatasannya

1. Rekahan yang terbentuk tidak terlalu lebar sehingga tidak banyak membantu

meningkatkan permeabilitas pada lapisan yang tebal

2. Penggunaan ball sealer tidak dapat dipakai karena hasil pelubangan yang runcing dibagian dalam dan tidak bulat di bagian luar
3. Jet lebih mahal jika dibandingkan dengan bullet bila dipakai pada interval perforasi yang pendek atau sedikit jumlah penembakannya

Pengerjaan perforasi ini sangat penting sekali karena mempengaruhi produktivitas sumur. Beberapa hal yang perlu direncanakan dalam pengerjaan perforasi adalah menentukan posisi dan intrval perforasi.

2.2.2. Penentuan Interval dan Posisi Perforasi

Dalam proses produksi minyak dapat terjadi water conning, dimana hal ini akan memberikan pengaruh negatif terhadap perolehan minyak. Dengan fenomena gas dan water conning tersebut, maka para ahli mencari hubungan antara laju produksi kritis dengan parameter reservoir serta parameter produksi untuk menentukan interval perforasi dan posisinya.

2.2.3. Penentuan Densitas Perforasi

Densitas perforasi adalah jumlah lubang dalam casing per satuan panjang (feet). Untuk mencegah terjadinya *coning*, faktor utama yang harus dibatasi adalah laju produksi awal dari sumur tersebut akan membandingkan laju produksi dari sumur yang diperforasi (Q_p) terhadap produktivitas sumur bila dikompleksi secara terbuka (*open hole*). Dengan demikian terlihat bahwa, produktivitas awal dari suatu formasi dipengaruhi oleh faktor faktor :

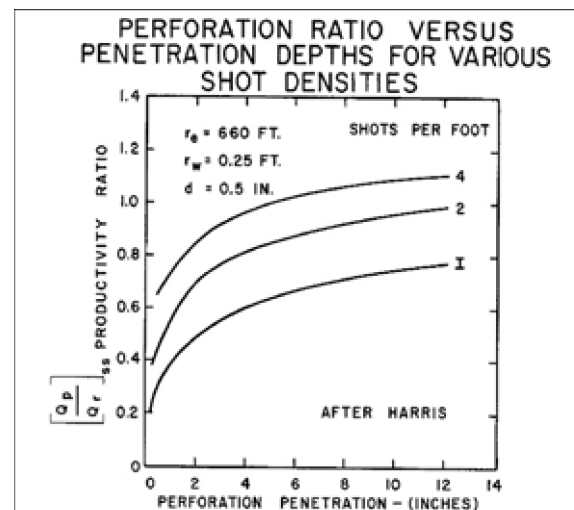
- *Skin* karena lumpur bor dan semen
- Perforasi, yang meliputi pola, kedalaman penembusan dan diameter perforasi.

2.2.4. Perhitungan Diameter Perforasi dan Kedalaman Penetrasi

Untuk mendapatkan *rate* sebesar 100 bbl/day, dengan kedalaman penetrasi perforasi 12 inci (305 mm) dan diameter lubang perforasi sebesar 0,375 inci (9,5) dibutuhkan *drowdown* (ΔP) sebesar 1,0 psi.

Pola pertama (*strip shooting*) menghasilkan *productivity ratio* yang lebih rendah bila dibandingkan dengan kedua pola lainnya. Hal ini disebabkan oleh distribusi tekanan pada kedua pola menghasilkan *drow-down* yang lebih merata untuk memproduksi fluida yang lebih besar.

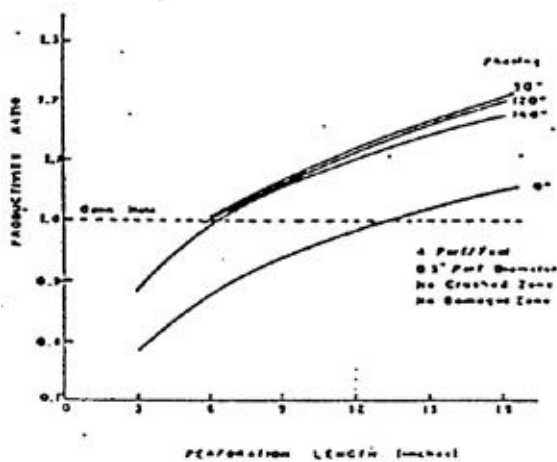
Pada formasi yang isotropic (permeabilitas horizontal dan vertikal sama), keseragaman besarnya *drow-down* dihubungkan terhadap jarak antara pelubangan yang berdekatan. Jarak yang terbesar terdapat pada pola ketiga (*staggered pattern*), (*staggered pattern*), sehingga pola tersebut mempunyai *productivity ratio* yang tertinggi.



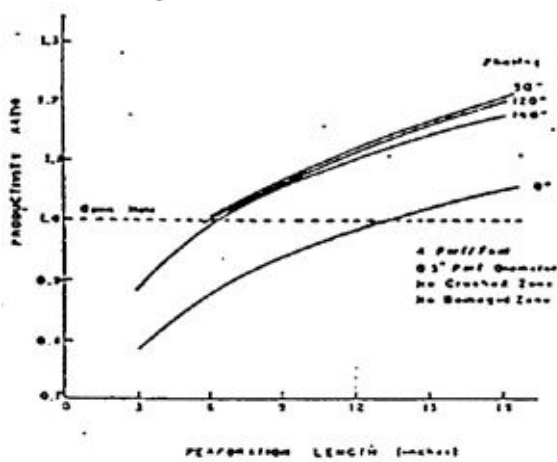
Gambar 5. Pengaruh Pola Perforasi pada Produktivty Ratio

Dari hasil penelitian Stanley Locke, digambarkan pengaruh dari kedalaman penetrasi perforasi (perforation length) terhadap *productivity ratio*, seperti terlihat pada gambar 6. *Productivity ratio* mencapai harga maksimum

pada kedalaman penetrasi kira-kira 12 inch (395 mm). Juga terlihat bahwa *productivity ratio* akan makin meningkat dengan pertambahan kedalaman penetrasi perforasi. Pada Gambar 7, digambarkan untuk suatu kedalaman penetrasi yang sama, maka besarnya *productivity ratio* akan bertambah dengan bertambahnya densitas perforasi. Jadi density perforasi akan mempengaruhi besarnya *productivity ratio* pada suatu harga kedalaman penetrasi dari perforasi.



Gambar 6. Produktivity Ratio vs Kedalaman Penetrasi Perforasi



Gambar 7. Produktivity ratio vs Kedalaman Penetrasi pada Berbagai Harga Densitas Perforasi.

2.2.5. Perhitungan Faktor Skin Perforasi

Laju aliran dari formasi kedalam sumur pada *perforated casing completion*, dipengaruhi oleh kerusakan (*damage*) dan lubang perforasi. Dalam hal ini keduanya dapat dikatakan sebagai skin yang sama secara kuantitatif dapat berharga positif atau negatif. Untuk selanjutnya masing-masing dinyatakan sebagai *skin damage* (S_d) dan *skin perforasi* (S_p).

Sedangkan hasil dari analisa tes tekanan memberikan harga skin total (S_t), dimana :

$$S_t = S_d + S_p \dots \dots \dots (6)$$

Teori analisa fluida menuju ke sumur menganggap geometri aliran radial dengan batas-batas $r = r_w$ (dinding formasi) dan $r = r_e$ (batas pengurasan). Apabila faktor skin diperhitungkan sebagai kehilangan tekanan, maka persamaan menjadi:

$$q = \frac{7,08 k h (Pr - Pwf)}{\mu B (\ln (r_e / r_w) - 1/2 + S)} \dots \dots (7)$$

dimana :

$S = S_t$ untuk sumur berselubung (ber-casing)
 $S_t = S_d$ atau $S_p = 0$ untuk *open hole completion*

Dalam hal ini, makin kecil diameter perforasi, semakin besar *skin* perforasinya. Dan makin banyak lubang juga makin dalam perforasinya, maka *skin* semakin kecil.

2.2.7. Perhitungan Pressure Drop Perforasi

Salah satu penyebab rendahnya produktivitas sumur pada *perforated completion* adalah karena program pelubangan selubung (perforasi) yang tidak memadai. Apabila kondisi ini terjadi akan berakibat timbulnya suatu hambatan terhadap aliran atau bertambahnya penurunan

an tekanan (*pressure drop*) dalam formasi.

Oleh karena itulah, Carl Granger dan Kermit Brown telah menggunakan analisa Nodal untuk mengevaluasi besarnya penurunan tekanan melalui lubang perforasi, pada berbagai harga density perforasi. Analisa Nodal disini, diterapkan untuk *Standart Perforated Well*, dengan menganggap *perforated hole turn 90°* dan tidak terjadi *damage zone* disekeliling lubang bor.

Anggapan-anggapan lain yang digunakan dalam mengevaluasi *pressure drop* melalui lubang perforasi ini adalah :

1. Permeabilitas dari *crushed zone* atau *compact zone* yaitu :
 - dari permeabilitas formasi apabila diperforasi dengan tekanan *overbalanced* (tekanan hidrostatik dalam lubang bor lebih besar daripada te-

kanan formasi).

- dari permeabilitas formasi, apabila diperforasi dengan tekanan *underbalanced* (tekanan hidrostatik dalam lubang bor lebih kecil daripada tekanan formasi).
2. Ketebalan *crushed zone* adalah 1/2 inch.
 3. Infiniti reservoir, sehingga P_{wst} tetap pada sisi dari *compact zone*, jadi pada *closed outer boundary*, konstanta - 3/4 pada persamaan Darcy dihilangkan.
 4. Untuk mengevaluasi *pressure drop* melalui lubang perforasi digunakan persamaan dari Jones, Blount dan Galze.

Open Perforated Pressure Drop

Persamaan dibawah ini hanya berlaku untuk sumur minyak pada umumnya, yaitu sebagai berikut :

$$P_{wfs} - P_{wf} = aq^2 + bq = P \dots\dots\dots (8)$$

$$P = \frac{(2,30 \times 10^4 \beta B_o^2 \rho_o (\frac{1}{r_p} + \frac{1}{r_e}))}{L_p^2} \frac{2}{q} + \left(\frac{\mu_o B_o (\ln \frac{r_e}{r_p})}{7,08 \times 10^{-3} L_p k_p} \right) q \dots\dots\dots (9)$$

dimana :

$$a = \frac{(2,30 \times 10^4 \beta B_o^2 \rho_o (\frac{1}{r_p} + \frac{1}{r_e}))}{L_p^2}$$

$$b = \left(\frac{\mu_o B_o (\ln \frac{r_e}{r_p})}{7,08 \times 10^{-3} L_p k_p} \right)$$

$$\beta = \text{turbulence factor, ft}^{-1} = \frac{2,33 \times 10^{10}}{1,201} k_p$$

dimana :

B_o = faktor volume formasi, bbl/STB

ρ_o = densitas minyak, lb/cuft

L_p = perforation length, ft

K_p = permeabilitas compact zone, md (kp = 0,1 k formasi, jika overbalanced dan kp = 0,4 k formasi, jika kondisi underbalanced).

r_p = jari-jari lubang perforasi, ft

- r_e = jari-jari compact zone, ft ($r_e = r_p + 0,5$ inch)
- μ_o = viscositas minyak, cp.

yaitu kekompakkan batuan, dan juga laju produksi yang optimum tanpa terjadinya *coning*.

III. Kesimpulan

- 1 Penyelesaian sumur atau *well completion* merupakan pekerjaan tahap akhir dari suatu operasi pemboran yang bertujuan untuk mempersiapkan sumur untuk menjadi sumur produksi.
- 2 Perencanaan *formation completion* diterapkan dengan mempertimbangkan produktivitas formasi dan kestabilan formasi
- 3 Perencanaan dan perhitungan yang ada pada *open hole completion* didasarkan pada penempatan kompleksinya dalam formasi produktif, yaitu penembusan sebagian dan total.
- 4 Didalam perhitungan *perforated casing completion* yang paling utama adalah menentukan interval perforasi, densitas perforasi dan diameter perforasi untuk mencegah gas atau *water coning* juga dapat menentukan besar atau kecilnya rate produksi yang diinginkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Allen, T.O., Robert, A.P., "Production Operation, Well Completion, Work Over and Stimulation", Vol. I & II and Gas Consultant International, Inc., Second Edition, 1982.
- Buzarde, L.E., Kasto, R.I., Bell, W.T. " Production Operation Course I-Well Completion". Society Of Petroleum Engineer of AIME, Houston, 1972.
- Craft, B.C and Hawkins M.F., "Applied Petroleum Reservoir Engineering", Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1959
- Gatlin Carl, "Petroleum Engineering, Drilling and Well Completion", Prentice Hall, New Jersey, 1960.
- Muskat, M., "Physical Principle of Oil Production", Mc Graw Hill Book Co., New York – Toronto – London, 1949.
- Nind, T.E.W., "Principle of Oil Well Production", Mc Graw Hill Book Company, New York, 1964.