

## PERANAN DATA PENILAIAN FORMASI UNTUK MEMINIMASI KERUSAKAN FORMASI AKIBAT AKTIVITAS PEMBORAN

Asep Mohammad Ishaq

### ABSTRAK

*Kerusakan formasi di sekitar lubang sumur pada lapisan produktif mengakibatkan berkurangnya aliran hidrokarbon ke dalam sumur. Kerusakan formasi dapat diidentifikasi dengan adanya perubahan permeabilitas yang semakin kecil, antara lain disebabkan oleh adanya aktivitas pemboran yaitu invasi filtrat lumpur dan padatan yang menyumbat pori-pori batuan dan mengakibatkan penurunan permeabilitas. Permeabilitas yang semakin kecil menyebabkan terjadinya penurunan produksi.*

*Dalam mengidentifikasi kerusakan formasi memanfaatkan data penilaian formasi. Perolehan data penilaian formasi dilakukan dengan Analisa Inti Batuan, Analisa Fluida Reservoir, Well Logging dan Well Testing.*

*Dari perolehan data ini maka dapat dilakukan identifikasi dan analisa indikasi kerusakan formasi untuk pengambilan keputusan yang tepat dalam upaya pencegahan dan penanggulangan kerusakan formasi.*

### I. LATAR BELAKANG MASALAH

Kerusakan formasi merupakan masalah yang akan selalu terjadi dan tidak dapat dihindarkan, akan tetapi dampak negatifnya dapat diminimasi bila dapat diperkirakan potensi kerusakan melalui identifikasi kemungkinan kerusakan dan penyebab kerusakan.

Kerusakan formasi didefinisikan sebagai unsur-unsur formasi di sekitar lubang sumur atau interval kompleks yang berdampak negatif terhadap produksi fluida reservoir (gas, minyak) dalam artian mereduksi atau menghambat (bertindak seolah-olah sebagai barrier) terhadap aliran fluida ke dalam sumur yang lebih kecil dari kemampuan alir alaminya.

Beberapa hal yang melatarbelakangi upaya penanganan terhadap masalah kerusakan formasi, yaitu

1. Upaya peningkatan perolehan, Dengan makin sulit dan langkanya penemuan cadangan baru, makin tinggi tingkat kebutuhan akan energi dan makin tinggi nilai ekonomi minyak dan gas bumi sebagai energi, maka terdapat perkembangan dan pemikiran untuk meningkatkan perolehan dari sisa cadangan yang telah yang telah ditemukan dan diproduksi, bahkan mungkin telah ditinggalkan. Upaya peningkatan perolehan tersebut akan selalu menghadapi masalah kerusakan formasi sebagai akibat dari penerapan cara produksi sebelumnya.
2. Upaya peningkatan produksi, Upaya peningkatan produksi, yang dikenal sebagai optimasi produksi, memperlihatkan tingkat keberhasilan tinggi setelah masalah kerusakan formasi dapat diketahui dan ditanggulangi.

## II. PEMANFAATAN DATA PENILAIAN FORMASI

Penilaian formasi adalah serangkaian kegiatan pencatatan atau pengukuran data tentang sifat fisik batuan dan fluida formasi yang ditembus oleh lubang bor. Kegiatan ini dapat dilakukan baik ketika pemboran sedang berlangsung maupun pada saat pemboran dihentikan sementara atau setelah mencapai target yang dikehendaki. Tujuan dari penilaian formasi adalah untuk mendapatkan lokasi dari akumulasi hidrokarbon dengan cepat, menentukan jenis reservoir, menilai potensial sumur, mengetahui penyebab adanya gangguan pada sumur produksi dan identifikasi kerusakan formasi.

Adapun metode-metode yang digunakan untuk penilaian formasi adalah:

### a. Analisa Inti Batuan

Adalah tahapan analisa batuan setelah contoh formasi di bawah permukaan diperoleh. Tujuan daripada analisa inti batuan untuk menentukan secara langsung informasi tentang sifat fisik batuan yang ditembus selama pemboran. Sifat fisik batuan yang diperoleh dalam menganalisa core ini antara lain: porositas, saturasi fluida, permeabilitas dan tekanan kapiler.

### b. Well Logging

Metoda well logging merupakan metoda pengukuran atau perekaman besaran-besaran fisik batuan reservoir terhadap kedalaman lubang bor dalam bentuk grafik. Sifat fisik batuan reservoir dapat dibagi menjadi 3 bagian, yaitu: sifat kelistrikan, sifat keradioaktifan dan sifat perambatan suara (gelombang) elastis dari batuan reservoir. Metode-metode logging yang akan dibicarakan di sini adalah : Log Listrik (Elektrik Log), Log Radioaktif

(Radioactive Log), Sonic Log dan log tambahan.

### c. Analisa Fluida Reservoir

Analisa air formasi dapat digunakan untuk menentukan kadar kandungan unsur-unsur mineral dalam air formasi. Kandungan ion-ion dalam air formasi dapat mengakibatkan problem produksi. Sifat air formasi dipengaruhi oleh zat-zat yang terkandung didalamnya dan akan berubah terhadap waktu. Kadar pH dapat berubah seiring dengan waktu (hilangnya ion  $H^+$  dan uap gas asamnya) dan perubahan suhu. Sifat ini berpengaruh terhadap tingkat pengendapan.

Macam-macam analisa air formasi meliputi: analisa pH, alkalinitas, kadar barium, kadar ion sulfat, kadar Fe, kadar chloride serta kadar kalsium dan magnesium.

### d. Well Testing

Tujuan dari well testing secara umum adalah mengumpulkan data sumur untuk memperoleh bukti produktivitas formasi, sumber informasi bagi keperluan perawatan sumur produksi dengan mendeteksi sebab-sebab penurunan rate produksi, mengatasi gangguan produksi dan peramalan cara produksi yang akan datang. Prinsip dasar pengukuran adalah membuat perbedaan tekanan antara formasi dengan lubang bor. Parameter-parameter yang diukur adalah tekanan statik ( $P_{ws}$ ), tekanan alir dasar sumur ( $P_{wf}$ ), tekanan awal reservoir ( $P_i$ ), faktor skin ( $S$ ), permeabilitas rata-rata ( $k$ ) dan radius pengurasan ( $r_e$ ).

### III. IDENTIFIKASI DAN PENYEBAB KERUSAKAN FORMASI

#### III.1. Identifikasi Kerusakan Formasi dan Pengukuran Kerusakan Formasi

Kerusakan formasi adalah suatu kondisi dimana produktivitas sumur dalam reservoir mengalami penurunan produksi secara drastis (tidak seperti yang diharapkan) yang terjadi pada formasi. Formasi mengalami kerusakan berarti pada formasi mengalami gangguan dalam mengalirkan fluida ke sumur produksi. Kerusakan dapat terjadi pada jangkauan terjauh ataupun di sekitar lubang sumur. Kerusakan formasi pada umumnya disebabkan oleh adanya perubahan permeabilitas yang semakin mengecil.

Untuk menganalisa indikasi adanya kerusakan formasi kita dapat melakukan dengan beberapa jenis analisa yaitu: Analisa Well Logging, Analisa Pressure Build Up dan Analisa Pressure Drawdown.

#### 1. Analisa Well Logging

Interpretasi logging sumur secara umum digunakan untuk perhitungan saturasi air di dalam formasi pada berbagai kedalaman, dan dari beberapa alat logging dapat pula diinterpretasikan radius invasi filtrat lumpur atau fluida kompleks. Ketelitian dari interpretasi logging makin tinggi sejalan dengan makin canggihnya peralatan logging sumur dan teknologi akuisisi data. Metode-metode logging yang akan dipakai antara lain :

##### a. Resistivity Log

Kurva yang terbentuk pada resistivity log merupakan hasil pengukuran dari tahanan listrik formasi dengan dua atau tiga elektrode yang diturunkan kedalam lubang bor. Analisa penentuan resistivitas formasi yang sebenarnya (true resistivity,  $R_t$ ) akan dapat menentukan tingkat kerusakan formasi karena mengikutsertakan kedalaman

invasi filtrat lumpur ke dalam formasi. Dewasa ini banyak sekali jenis-jenis dari resistivity log, diantaranya adalah :

- Normal Log Device
- Lateral Log Device,
- Induction Log
- Laterolog (Guard Log)
- Micro Resistivity Log

##### b. Log Radioaktif

Hampir semua batuan sedimen mengandung jejak-jejak garam radioaktif, sebagai akibatnya garam-garam ini dapat menimbulkan radiasi radioaktif secara alamiah. Batuan sedimen dengan butiran halus lebih banyak mengandung unsur radioaktif dibandingkan dengan yang berbutir kasar, karena unsur-unsur radioaktif banyak terserap oleh partikel-partikel clay. Unsur-unsur yang termasuk radioaktif adalah seri Uranium-Radium, seri Thorium, seri Aktinium dan isotop Potassium.

Kandungan radioaktif pada batuan shale umumnya lebih tinggi dibandingkan dengan batuan lainnya, sehingga log sinar gamma akan dapat membedakan lapisan-lapisan shale dengan jelas. Dengan demikian gamma-ray log dapat digunakan untuk mengukur porositas dan mengontrol kedalaman lubang sumur untuk perforasi karena log ini dapat digunakan pada lubang bor yang sudah dicasing serta tidak ada pembatasan dalam penggunaan lumpur. Selain dapat untuk mengindikasikan adanya lapisan shaly-sand pada interpretasi log listrik.

Jenis log radioaktif yang biasa digunakan di lapangan adalah :

- Log Density (Density Log)
- Log Sinar Gamma (Gamma Ray Log)
- Log Neutron (Neutron Log)

## 2. Analisa Pressure Build Up

Teknik pengujian transien tekanan ini dilakukan dengan cara memproduksi sumur selama selang waktu tertentu dengan laju aliran yang tetap, kemudian menutup sumur tersebut (biasanya dengan menutup kepala sumur di permukaan). Penutupan sumur ini menyebabkan naiknya tekanan yang dicatat sebagai fungsi waktu (tekanan yang dicatat ini biasanya adalah tekanan dasar sumur). Berdasarkan data tekanan yang diperoleh dari hasil analisa pressure build up tersebut, maka dapat ditentukan :

- Permeabilitas formasi ( k )
- Adanya karakteristik kerusakan atau perbaikan formasi (Faktor Skin)
- Produktivitas formasi (PI)
- Tekanan statis ( $P^*$ ) dan tekanan rata-rata (P) reservoir

Sedangkan untuk menentukan apakah terjadi kerusakan atau perbaikan formasi yang ditandai oleh harga skin factor (S), maka digunakan persamaan :

$$S = 1.151 \left[ \frac{P_{i,jam} - P_{wf}}{m} - \log \frac{k}{\phi \times \mu \times Ct \times r_w^2} + 3.23 \right]$$

Selanjutnya apabila "S" ini :

- Berharga positif (+) berarti ada kerusakan (damage) yang pada umumnya dikarenakan adanya filtrat lumpur pemboran yang meresap ke dalam formasi atau mud cake di sekeliling lubang bor pada formasi produktif yang kita amati.
- Berharga negatif (-) berarti menunjukkan adanya perbaikan, yang biasanya terjadi setelah dilakukan pengasaman atau suatu perekahan hidraulik.

## 3. Analisa Pressure Drawdown

Pressure draw down test, adalah suatu pengujian yang dilaksanakan dengan jalan membuka sumur dan mempertahankan laju produksi tetap selama pengujian berlangsung. Sebagai syarat awal, sebelum pembukaan sumur tersebut tekanan hendaknya seragam di seluruh reservoir yaitu dengan menutup sumur sementara waktu agar dicapai keseragaman tekanan di reservoirnya.

Informasi-informasi yang dapat dihasilkan dari analisa pressure drawdown test diantaranya untuk menentukan :

- Menentukan Permeabilitas formasi (k)
- Menentukan Faktor Skin (S)
- Menentukan pori-pori yang berisi fluida ( $V_p$ )

Metode analisa pressure drawdown test dibagi menjadi 3, yaitu :

1. Pada saat periode transient (Infinite Acting)

Harga skin ditentukan dengan persamaan :

$$S = 1,151 \left[ \frac{P_i - P_{1,jam}}{m} - \log \left( \frac{k}{\phi \times \mu \times Ct \times r_w^2} \right) + 3,23 \right]$$

2. Periode tansient lanjut

Harga skin ditentukan dengan persamaan :

$$S = 0.84 \left[ \frac{\bar{P} - P}{b} \right] - \ln \left[ \frac{r_e}{r_w} \right] + 0.75$$

3. Periode semi mantap (pseudo steady-state atau semi steady-state)

### III.1.1. Skin

Van Everdingen (1953) memperkenalkan konsep skin yang diikuti oleh Hurst dan Hawkins yang mendefinisikan skin sebagai hambatan

terhadap aliran fluida dari reservoir ke lubang sumur di zona terinvasi

$$S = \left( \frac{K}{K_s} - 1 \right) \ln \frac{r_s}{r_w}$$

$$r_d = r_w e^{-S}$$

Hawkins mengekivalensikan seluruh hambatan aliran sebagai skin total yang dapat dinyatakan sebagai hambatan aliran dalam formasi pada zona terinvasi yang mengalami perubahan sifat-sifat alir (sejak  $r_d$ ). Dalam acuan operasional lapangan, skin total pada umumnya sebagai kerusakan formasi dengan anggapan :

$S > 0$  : menunjukkan adanya kerusakan permeabilitas formasi di sekitar lubang bor

$S < 0$  : menunjukkan tidak ada kerusakan di sekitar lubang sumur/adanya perbaikan formasi

$S = 0$  : kerusakan formasi di sekitar lubang sumur dapat diabaikan

Pernyataan tersebut benar apabila skin total hanya diakibatkan oleh hambatan aliran dalam formasi. Tidak semua kerusakan formasi dapat diketahui dan ditentukan berdasarkan analisa skin total, dimana faktor skin nol ( $S_{total} = 0$ ) digunakan sebagai referensi tidak terdapatnya kerusakan formasi.

Para analisis menyadari kerancuan tersebut, di lain pihak menyadari pula bahwa sulit untuk menentukan kemampuan alir alami formasi yang sebenarnya dan berpendapat bahwa formasi umumnya berproduksi lebih kecil dari kemampuan alir optimumnya seperti yang dinyatakan sebagai berikut :

$CR = q/q_t$  ; rasio kondisi/produktivitas

$CF = q/q_t * 100$  ; rasio kompleksitas

$DF = 1 - q/q_t$  ; faktor kerusakan

$$CR = \frac{q}{q_t} = \frac{(P_s - P_{wf}) - \frac{q \mu S}{2\pi k h}}{(P_s - P_{wf})}$$

Brons dan Martin memperkenalkan pseudoskin untuk kasus penetrasi partial dan produksi melalui sebagian interval produksi (aliran terbatas). Odeh memperkenalkan pendekatan skin semu sebagai berikut:

$$S_a = S_{tr} + S_p + S_{wp} + \dots + S_x$$

Lebih lanjut, Jones dan Watts menyarankan perhitungan faktor skin akibat perubahan permeabilitas di sekitar lubang sumur dan akibat kompleks parsial dengan menggunakan persamaan :

$$S_{cp} = \frac{h}{\Delta Z_p} \left[ 1 - 0.2 \frac{r_s - r_w}{\Delta Z_p} \right] \frac{k - k_s}{k_s} \ln \frac{r_s}{r_w}$$

Untuk mengatasi masalah kemiringan pada slanted well, Cinco, Miller dan Ramey memformulasikan faktor skin semu sebagai berikut :

$$S_{swp} = - \left( \frac{\alpha}{41} \right)^{2.06} - \left( \frac{\alpha}{56} \right)^{1.865} \log \left[ \frac{h}{100 r_w} \right]$$

Slanted well dalam bahasa Cinco, Miller dan Ramey adalah terpenuhinya kondisi  $0^\circ < \alpha < 75^\circ$ ,  $h/r_w > 40$ ,  $t_D > 100$

Para analisis menyadari bahwa baik skin total ( $S_{total}$ ) maupun komponen-komponennya seperti skin formasi ( $S_{form}$ ), skin penetrasi parsial ( $S_p$ ), skin perforasi ( $S_{perf}$ ), skin turbulensi ( $S_{turb}$ ) dan sebagainya adalah merupakan jumlah aljabar dari skin masing-masing komponennya, sedangkan skin dari suatu komponen juga merupakan jumlah aljabar dari skin komponen tersebut dari setiap segmennya.

$$\begin{aligned}
 S_{tot} + \dots + S_n &= \sum_{i=1}^n S_i = S_{form} + S_{turb} + S_{perf} \\
 S_{form} + \dots + S_{fn} &= \sum_{i=1}^n S_{fi} = S_{f1} + S_{f2} + S_{f3} + \dots + S_{fn} \\
 S_{turb} + \dots + S_{tn} &= \sum_{i=1}^n S_{ti} = S_{t1} + S_{t2} + S_{t3} + \dots + S_{tn} \\
 S_{perf} + \dots + S_{pn} &= \sum_{i=1}^n S_{pi} = S_{p1} + S_{p2} + S_{p3} + \dots + S_{pn}
 \end{aligned}$$

**Tabel 1**  
**Kasus Analisa Skin**

KASUS	S <sub>F1</sub>	S <sub>F2</sub>	S <sub>FTOTAL</sub>	CATATAN
1	+	+	++	Produktivitas sangat rendah, stimulasi
2	+	-	+	Produktivitas rendah, analisi lanjut
3	+/-	+/-	0	Optimum
4	0	0	0	Ideal, potensi alami
5	+	--	-	Produktivitas tinggi
	--	+		

Kasus di atas meskipun sangat sederhana dan kualitatif, namun dapat memberikan gambaran berbagai kerancuan dari suatu upaya perbaikan.

1. Kasus 1  
Sub interval 1 dan 2 keduanya menunjukkan skin positif, sehingga dianjurkan untuk distimulasi. Bila sub interval 1 memberikan indikasi kerusakan yang lebih parah dari sub interval 2, maka stimulasi harus diarahkan pada sub interval 1 dan sebaliknya.
2. Kasus 2  
Salah satu sub interval mempunyai nilai positif lebih besar dari nilai skin negatif pada sub interval lainnya, sehingga

nilai skin total bernilai positif kecil. Kasus ini harus dianalisa lebih lanjut karena umumnya memberikan tingkat keberhasilan rendah secara optimal.

3. Kasus 3  
Sub interval 1 maupun 2 keduanya memperlihatkan skin positif atau skin negatif dengan tingkat kerusakan atau perbaikan yang sama, skin totalnya nol. Kasus ini dianggap optimum, sehingga umumnya tidak disarankan untuk dilakukan stimulasi. Secara khusus stimulasi disarankan pada bagian atau sub interval dengan skin formasi positif saja, sehingga bagian tersebut harus diisolasi. Kasus 3 dikategorikan optimum, mengingat setiap kegiatan yang dilakukan dalam sumur dapat

menimbulkan kerusakan baru, di lain pihak upaya mengisolasi sub interval yang mungkin saling berhubungan sangat sulit dilaksanakan.

#### 4. Kasus 4

Kasus 4 dengan skin total nol merupakan kasus ideal karena skin total ini terdiri atas skin dari masing-masing sub interval nol. Bila semua komponen skin nol, maka kasus ini memberikan gambaran potensi alami yang sebenarnya.

#### 5. Kasus 5

Kasus 5 merupakan kasus dimana salah satu sub interval mengalami perbaikan lebih besar dari tingkat kerusakan sub interval lainnya. Serupa dengan kasus 3, kasus ini dikategorikan sebagai optimum dengan maksud supaya tidak timbul kerusakan baru karena upaya mengisolasi sub interval yang mungkin saling berhubungan sulit dilaksanakan.

### III.1.2. Flow Efficiency (FE) & Damage Ratio (DR)

Productivity Index (PI) merupakan besaran kemampuan sumur atau formasi untuk dapat mengalirkan/memproduksi fluida reservoir, yang didefinisikan sebagai perbandingan antara laju produksi fluida dengan pressure draw down (beda tekanan reservoir dan sumur).

Indeks Produktivitas (PI) atau menurut SPE menggunakan notasi (J), dapat dinyatakan sebagai:

$$J = PI = \frac{q}{(P_s - P_{wf})} \frac{bbl / hari}{psi}$$

keterangan :

$$q = \text{laju alir, BPD}$$

$$= \frac{7.08 k h (P_s - P_{wf})}{\mu_o B_o \ln \left( \frac{r_e}{r_w} \right)}$$

$P_s$  = tekanan statik, psi

$P_{wf}$  = tekanan alir dasar sumur, psi

Dari pengertian PI, maka timbul pengertian perbandingan produktivitas (productivity ratio) yang merupakan perbandingan antara  $PI_{actual}$  dengan  $PI_{ideal}$ . Productivity ratio disebut juga dengan Flow Efficiency (FE).

$$FE = \frac{PI_{actual}}{PI_{ideal}}$$

keterangan:

$$PI_{actual} = \frac{7.08 k h}{\mu_o B_o \ln \left( \frac{r_e}{r_w} \right)}$$

$$PI_{ideal} = \frac{q}{P_s - P_{wf} - \Delta P_{skin}}$$

sehingga:

$$FE = \frac{P_s - P_{wf} - \Delta P_{skin}}{P_s - P_{wf}}$$

dimana  $\Delta P_{skin}$  = kehilangan tekanan pada zone damage

Dengan mengetahui harga FE maka dapat diperkirakan kondisi formasi di sekitar lubang bor yaitu dengan adanya kerusakan formasi, maka besarnya FE akan berkurang. Secara relatif Damage Ratio (DR) dapat digunakan untuk mengetahui tingkat kerusakan suatu formasi.

Damage Ratio adalah perbandingan antara  $PI_{ideal}$  (alami, tanpa kerusakan) dengan PI

actual, atau bila dinyatakan dalam persamaan :

$$DR = \frac{PI_{actual}}{PI_{ideal}} = \frac{P_s - P_{wf}}{P_s - P_{wf} - \Delta P_{skin}}$$

Sehingga hubungan antara Flow Efficiency dengan Damage Ratio adalah :

$$FE = \frac{1}{DR}$$

Kerusakan formasi ditunjukkan oleh peningkatan harga DR seperti terlihat pada tabel berikut :

**Tabel 2**  
**Indikasi Damage Ratio**

DAMAGE RATIO	INDIKASI KERUSAKAN
< 1.0	Tanpa kerusakan
1.0 - 2.0	Kemungkinan rusak
2.0 - 5.0	Terjadi kerusakan
> 5.0	Sangat rusak

Teknik Damage Ratio ini bersifat kualitatif, kecuali bila laju produksi ideal dapat ditentukan tanpa menggunakan asumsi. Besaran ini cenderung dianggap benar bila dalam perhitungannya faktor skin diasumsikan sama dengan nol (skin = 0).

### III.2. KERUSAKAN FORMASI AKIBAT AKTIVITAS PEMBORAN

Operasi pemboran dapat menimbulkan kerusakan formasi akibat invasi filtrat dan partikel fluida pemboran. Pengendapan partikel lumpur pemboran di sekitar lubang sumur akan sangat

menurunkan permeabilitas meskipun kedalaman invasi partikel kecil yaitu berkisar antara range kurang dari 1 inch hingga 1 ft. Untuk memperkecil kerusakan maka partikel lumpur harus lebih besar. Abrans (1977) menyarankan agar 5% volume partikel lumpur memiliki diameter lebih besar dari 1/3 ukuran pori rata-rata. Penanganan kerusakan formasi akibat partikel lumpur pemboran dilakukan dengan perforasi atau acidizing.

Komponen-komponen lumpur yang dapat menimbulkan kerusakan formasi dalam pemboran sumur adalah :

- Invasi partikel Lumpur ke dalam formasi
  - ✓ Lempung (Clays)
  - ✓ Serbuk bor (Cuttings)
  - ✓ Material pemberat (Weighting materials)
  - ✓ Material pencegah kehilangan lumpur dalam sirkulasi (Loss circulation materials)
- Invasi filtrat lumpur ke dalam formasi
  - ✓ Viscosified fluids
  - ✓ Surfactan
  - ✓ Minyak dan air

Partikel lumpur dapat menyumbat pori, retak alami, alur-pori dan alur aliran fluida reservoir yang memungkinkan keduanya mengalir bersama. Invasi filtrat lumpur dapat pula merubah kebasahan formasi, meninggalkan sisa dan endapan, mempengaruhi sifat lempung alami (mobilitas-penyusutan-pengembangan), menaikkan kadar kejenuhan (saturasi) air sehingga mungkin terinterpretasi sebagai zona tidak prospek/overlook dan menghambat aliran.

Sejak mata bor menembus zona permeable-produktif, maka partikel halus, baik dari lempung maupun dari sumber lainnya, masuk ke dalam sistem formasi sampai mud/filter-cake terbentuk. Pemboran overbalance cenderung

memaksa fluida dan padatan ke dalam formasi, dan bila filter cake cepat terbentuk, maka invasi padatan umumnya hanya yang berukuran  $\frac{1}{6}$  dari diameter porethroats. Partikel halus ini dapat dengan mudah terproduksi kembali ke permukaan bila sumur secara aktif diproduksi; oleh karenanya, partikel halus semacam ini tidak mengakibatkan kerusakan formasi secara langsung. Di lain pihak, partikel halus berdiameter lebih besar  $\frac{1}{6}$  sampai  $\frac{1}{2}$  diameter porethroats cenderung untuk masuk ke dalam formasi (bridging), tertinggal dan bahkan terendapkan, sedangkan partikel dengan diameter lebih besar dari  $\frac{1}{2}$  diameter porethroats akan tertahan dan membentuk filter cake. Partikel-partikel halus tersebut dapat berasal dari padatan lumpur dan serbuk bor terutama lempung dan dispersed shales.

Idealnya, filter cake dapat segera terbentuk oleh padatan-padatan lumpur bor sehingga akan mengurangi jumlah fluida dan padatan yang masuk ke dalam formasi secara maksimal sesuai dengan persyaratan standar lumpur bor. Ukuran partikel memperlihatkan kecenderungan : (1) terinvasi, (2) terjebak, atau (3) terendapkan. Ketiganya membentuk filter cake sesuai dengan ukuran porethroats rata-rata dan permeabilitas batuan (pasir klastik atau karbonat klastik yang didominasi oleh alur matriks).

Invasi terjadi karena padatan/partikel lumpur dan/atau filtrat fluida masuk ke dalam pori-pori batuan dan invasi tersebut hanya dapat diminimasi bilamana filter cake dapat dengan segera terbentuk. Tingkat invasi tidak dapat diukur di lapangan karena berbagai alasan praktis, tetapi dari sifat-sifat umum lumpur dan formasi maka tingkat invasi dapat ditentukan karena berhubungan dengan jumlah relatif partikel/padatan lumpur bor

(ukuran dan distribusinya). Sebagai contoh, lumpur bor yang hanya mengandung padatan lebih kecil dari 1 mikron, maka partikel ini akan sangat mudah masuk (invasi) ke dalam pori-pori batuan yang berdiameter rata-rata hanya 10 mikron.

Bila padatan lumpur sebagian besar berukuran 1 mikron atau kurang, maka partikel tersebut akan dengan mudah terinvasi ke dalam formasi dengan permeabilitas 100 mD dan diameter rata-rata porethroats 10 mikron, dimana mud cake tidak akan terbentuk dan kehilangan lumpur cenderung tinggi. Untuk kasus yang sama, bila ukuran padatan lumpur lebih besar dari 50 mikron, maka mud cake akan terbentuk di permukaan batuan. Di lain pihak, mud cake tersebut akan mudah tererosi (larut kembali) oleh fluida sirkulasi dan kasus tersebut memperlihatkan bahwa kerusakan formasi tidak dapat dicegah akan tetapi tetap akan diminimasi dampaknya.

Contoh kasus di atas memberikan gambaran kriteria lumpur yang baik, yaitu antara lain : (1) lumpur harus mengandung berbagai ukuran partikel (dengan distribusi yang cukup lebar), (2) memungkinkan invasi terkendali (3) pembentukan mud cake/filter cake cepat dan baik, (4) filter cake berpermeabilitas rendah dan relatif stabil. Pembentukan mud cake/filter cake cepat dan baik mengandung pengertian berfungsi sebagai filter secara bertahap (filter build up) pada berbagai kondisi permeabilitas dan ukuran pori.

Invasi filtrat lumpur selama proses pemboran tergantung pada tiga faktor utama : (1) permeabilitas filter cake, (2) beda tekanan formasi dan tekanan lubang sumur (tekanan overbalance), dan (3) waktu kontak formasi dengan lumpur bor. Permeabilitas mud cake dari lumpur yang baik seharusnya rendah sekali, dan semua lumpur didesain agar tetap berada di dalam

lubang bor, tingkat kehilangannya minimal sehingga biaya untuk pengadaan lumpur dapat ditekan serendah mungkin.

Upaya memerangi fluid loss berarti mengurangi kerusakan formasi selama proses pemboran, meskipun hal ini mungkin tidak selalu sesuai dengan program lumpur. Uji filtrasi statik dan dinamik memberikan gambaran mengenai jumlah fluida yang mungkin hilang selama operasi pemboran. Uji filtrasi tersebut dapat digunakan sebagai dasar petunjuk (guidance) dalam menilai pengaruh relatif lumpur bor, material/bahan tambahan (mud additives), temperatur, tekanan dan kecepatan sirkulasi.

Walaupun core tersedia dan digunakan dalam uji filtrasi serta dengan menggunakan lumpur yang sesungguhnya, data dan informasi yang diperoleh hanya akan memberikan besaran relatif karena filtrasi di dalam lubang sumur yang sesungguhnya akan masih tergantung pada gerakan mata bor dan variasi sifat-sifat batuan formasi.

Bagaimanapun baiknya filter cake, akan banyak sekali fluida yang masuk ke dalam formasi selama pengeboran suatu zona yang permeable, kecuali zona yang dibor tersebut adalah zona yang terakhir dari suatu sumur, pemboran lanjutan akan menambah volume fluid loss.

Masalah umum sebagai akibat hilangnya filtrat dari water base mud adalah pengaruhnya terhadap lempung alami di dalam formasi. Banyak jenis lempung dalam reservoir gas dan minyak yang sensitif terhadap air dan bilamana terjadi perubahan salinitas sistem air-lempung pada bidang kontakannya, maka sifat lempung akan berubah. Bila salinitas dari filtrat lumpur lebih tinggi dari air formasi, maka ukuran lempung akan menyusut dan sebaliknya bila salinitasnya

lebih rendah maka lempung akan mengembang. Ukuran lempung yang menyusut dapat menyebabkan terlepasnya partikel-partikel lempung dari ikatan alaminya sehingga memungkinkan terjadinya penyumbatan di porethroat.

Montmorillonite dan Mixed layer clay adalah jenis lempung yang sangat sensitif terhadap salinitas air karena dapat menyusut dan mengembang beberapa kali dari ukuran normalnya. Menyusut dan mengembangnya clay dapat menyebabkan terjadinya penurunan permeabilitas formasi.

Kaolinite, Chlorite dan Illite relatif kurang sensitif terhadap salinitas filtrat lumpur, tetapi mudah terdispersi oleh dispersing agent di dalam filtrat lumpur. Hal ini menimbulkan dampak yang sama, yaitu penyumbatan pori-pori dan penurunan kemampuan alir formasi.

Hingga dapat disimpulkan bahwa potensi lempung untuk menimbulkan kerusakan formasi dapat direduksi dengan mengurangi invasi filtrat lumpur yang masuk ke dalam formasi.

Perubahan sifat kebasahan (wettability) reservoir dari water wet menjadi oil wet oleh surfactant di dalam filtrat lumpur akan mengurangi permeabilitas relatif terhadap minyak dari batuan. Emulsi terbentuk terutama pada keadaan dimana surfactant kationic yang terdapat di dalam lumpur akan menjadikan lempung bersifat oil wet, dan demikian pula bila terjadi pencampuran antara minyak dengan water base fluid dalam pori-pori di sekitar lubang bor. Kenaikan derajat kejenuhan (saturasi) air cenderung menyebabkan penyumbatan pori batuan.

Oil base mud biasa digunakan untuk membor formasi lempungan atau shaly formation karena kecil pengaruhnya

terhadap lempung di dalam formasi. Minyak sering mengandung surfactant kationic yang cenderung menyebabkan formasi menjadi oil wet dan menimbulkan masalah dengan permeabilitas relatifnya. Sedangkan oil base mud hampir selalu menurunkan permeabilitas relatif terhadap gas dan sangat dianjurkan untuk tidak menggunakan oil base mud untuk membor suatu formasi yang potensial mengandung gas.

Semen sebagai bahan dan operasi penyemenan sebagai aktivitas ternyata memiliki potensi untuk menimbulkan kerusakan formasi. Penyemenan yang tidak sempurna dapat menyebabkan aliran dan invasi fluida antar zona. Hal ini dapat dideteksi dengan teknologi akuisisi data (perbandingan antara interpretasi cased dan open hole).

#### **IV. PENCEGAHAN KERUSAKAN FORMASI**

Kerusakan formasi yang terjadi akibat kegiatan pemboran perlu dicegah agar menurunnya produktivitas formasi tidak terlalu besar karena rusaknya permeabilitas di sekitar lubang sumur akibat adanya penyumbatan pada pori-pori dan saluran pori, sehingga produksi minyak di permukaan yang diinginkan dapat dicapai.

##### **IV.1. Pencegahan Kerusakan Formasi Pada Kegiatan Pemboran**

Aspek praktis dan upaya pencegahan kerusakan formasi selama pemboran, antara lain:

1. Keselamatan dan keamanan  
Faktor keselamatan dan keamanan dalam pemboran harus tetap diperhatikan tanpa mengabaikan upaya perolehan hasil optimum dan minimasi kerusakan formasi yang ditimbulkan.

2. Desain sistem lumpur  
Untuk meminimasi kerusakan formasi maka sistem lumpur yang ideal adalah yang dapat memberikan membran tipis-impermeabel pada permukaan formasi. Maka lumpur harus memiliki fluid loss rendah, spurt loss rendah dan salinitas filtrat yang serupa dengan air formasi.
3. Operasi pemboran  
Laju pemboran harus maksimum dengan WOB tinggi dan RPM rendah untuk meminimasi turbulensi di sekitar mata bor dan waktu kontak dari lumpur dengan zona produktif. Berat lumpur harus dipertahankan pada batas minimum aman (overbalance minimal). Pemakaian barite harus dihindari karena tidak larut dalam asam dan kimiawi lain di lapangan. Berat lumpur dapat dinaikkan dengan aditif yang larut dalam asam/air, seperti garam-garam karbonat (kalsium besi) dan oksida besi.
4. Penggunaan oil base  
Oil base mengurangi masalah pemboran pada formasi lempungan dan disarankan penggunaannya pada formasi ini, karena invert emulsion menghasilkan filter cake tipis (dengan filtrat minyak). Namun oil emulsion mud bila menghadapi zone tekanan tinggi memerlukan bahan pemberat yang lebih banyak yang dapat menimbulkan kerusakan formasi, terutama bila menggunakan barite.  
Bila perlu pemboran memakai udara atau gas untuk mencegah kerusakan formasi, tetapi hal ini berlaku bila keadaan lubang bor dapat dikontrol dan tidak menimbulkan semburan liar (blowout).

#### IV.2. Pencegahan Terjadinya Invasi Air Filtrat

Aktivitas pemboran selalu mengakibatkan invasi filtrat dan padatan ke dalam formasi produktif yang disebabkan oleh tekanan hidrostatik kolom fluida pada lubang bor lebih besar daripada tekanan formasi. Filtrasi yang terlalu besar menghasilkan invasi air filtrat yang besar, hal ini tidak diinginkan sehingga perlu pencegahan segera mungkin. Beberapa cara untuk mencegah terjadinya kerusakan formasi yang diakibatkan oleh invasi air filtrat ke dalam formasi produktif, antara lain:

1. Menggunakan additif yang bersifat menurunkan laju alir filtrat (*filtration loss*) pada lumpur pemboran dan fluida stimulasi.
2. Mengurangi perbedaan tekanan yang terjadi antara tekanan hidrostatik kolom lumpur dan tekanan formasi sampai pada harga yang aman.
3. Menggunakan fluida pemboran atau kompleksi sumur yang sesuai dengan kondisi tiap-tiap formasi produktif, sehingga air filtrat yang masuk ke dalam formasi tidak mengganggu kesetimbangan antara fluida dan batuan yang ada dalam formasi.
4. Menggunakan lumpur pemboran udara atau gas untuk mencegah invasi air filtrat yang mengganggu kestabilan formasi.

#### IV.3. Pencegahan Terjadinya Invasi Padatan

Gatlin memberikan beberapa cara untuk mencegah terjadinya kerusakan formasi akibat invasi padatan asing ke dalam formasi, antara lain:

1. Penambahan padatan koloid secara tepat agar pembentukan sumbat (*bridge*) yang efisien segera tercapai.

2. Mengurangi perbedaan tekanan yang terjadi antara tekanan hidrostatik kolom lumpur dan tekanan formasi sampai pada harga yang aman.
3. Menggunakan fluida pemboran udara atau gas pada sumur-sumur tertentu.

#### IV.4. Pencegahan Kerusakan Formasi Pada Kegiatan Penyemenan

Untuk mengurangi dampak negatif kerusakan formasi akibat kehilangan filtrat maupun padatan selama proses penyemenan, disarankan hal-hal sebagai berikut:

1. Fluid loss diminimasi dengan penambahan material pencegah fluid loss.
2. Penggunaan water wetting surfactants agar formasi permeabel yang diinvasi fluida menjadi water wet.
3. Penggunaan partikel pengikis yang berukuran cukup besar agar tidak masuk ke dalam pori formasi. Dianjurkan menggunakan pasir/sintered-bauxite berukuran minimum 100 mesh.
4. Penambahan ammonium klorida dan kalium klorida ke dalam air untuk mengurangi pengaruhnya terhadap lempung formasi dengan catatan garam tersebut kompatibel dengan lumpur dan semen.
5. Hindari pemakaian bahan pemberat, kecuali mutlak diperlukan dengan syarat harus larut dalam air, minyak atau asam.

#### KESIMPULAN

1. Kerusakan formasi dapat terjadi sebagai akibat adanya operasi pemboran karena adanya kontak antara batuan formasi dengan fluida atau padatan.
2. Pengujian dan analisa Well Logging, analisa Pressure Build Up

dan analisa Pressure Drawdown dapat diperoleh informasi antara lain permeabilitas formasi dan faktor skin sebagai parameter analisa indikasi kerusakan formasi

3. Pencegahan kerusakan formasi akibat proses pemboran dilakukan dengan mencegah terjadinya invasi

air filtrat dan invasi padatan sedangkan untuk kerusakan formasi yang telah terjadi dilakukan upaya penanggulangan dengan well stimulation berupa Wellbore Clean Up, Matrix Stimulation dan Fracturing.

### DAFTAR PUSTAKA

1. Amyx, J.W., Bass, D.M.Jr., dan Whiting, R.L., "Petroleum Reservoir Engineering", Mc Graw-Hill Book Company, New York, 1960.
2. Adam, J. Neal, "*Drilling Engineering A Complete Well Planning Approach*", Pen Well Publishing Company, Tulsa, Oklahoma, 1985.
3. Dake, L.P. , "Fundamental of Reservoir Engineering", Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, Oxford, New York, 1978
4. Gatlin, C., "Petroleum Engineering Drilling and Well Completion", Prentice Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1960.
5. Lee, John, "Well Testing", Society of Petroleum Engineers of AIME, New York, Volume I, 1982.
6. Matthews, C. S and Russel, D. G , "Pressure Buildup and Flow Tests in Wells", Society of Petroleum Engineers of AIME New York, 1967.

