

## ANALISIS PENYEBARAN UAP DENGAN TEKNIK SEISMIK 4-D PADA PROSES PEROLEHAN MINYAK LANJUT DENGAN INJEKSI UAP

Mokhammad Yusup Nur Khakim  
Jurusan Fisika FMIPA Universitas Sriwijaya

### ABSTRAK

*Pada proses perolehan minyak lanjut dengan injeksi uap, teknik seismik 4-D telah berhasil digunakan untuk memantau penyebaran dan ketebalan uap. Teknik ini membandingkan data seismik 3-D sebelum penginjeksian uap (data baseline) dengan data 3-D yang direkam selama penginjeksian uap (data monitor). Data baseline dan monitor direkam pada parameter yang sama. Penyebaran uap ditentukan dengan pemetaan perbedaan waktu refleksi. Perbedaan waktu refleksi ini digunakan untuk menentukan ketebalan uap dengan menggunakan faktor skala yang dihasilkan dari data pemodelan dan data sumur. Hasil analisis peta perbedaan waktu refleksi dan ketebalan uap menunjukkan bahwa penyebaran uap mempunyai pola radial yang tidak sederhana.*

### PENDAHULUAN

Lapangan Merapi merupakan ladang minyak terbesar kedua di Indonesia setelah lapangan Minas. Lapangan ini mempunyai OOIP (*Original Oil In Place*) 5,3 milyar barrel. Pada produksi primer, lapangan ini hanya memproduksi sekitar 8% dari OOIP. Setelah beberapa tahun lapangan ini berproduksi, tekanan formasi pada beberapa tempat di tengah lapangan ini diketahui sangat rendah. Selain tekanan formasi yang rendah, minyak di lapangan tersebut mempunyai viskositas yang tinggi (sekitar 150 centipoise) (Dasiba dan Fanandi, 1990), sehingga mengakibatkan

rendahnya perolehan minyak pada produksi primer, dengan tingkat penurunan produksi sekitar 13% pertahun. Oleh karena itu perlu dikembangkan suatu proses perolehan minyak lanjut, yang biasanya dikenal sebagai *Enhanced Oil Recovery* atau EOR, yaitu dengan pendesakan uap. Proses EOR pada dasarnya bertujuan untuk memobilisasi sisa minyak yang ada setelah perolehan minyak pada produksi primer. Dengan teknologi ini diharapkan perolehan minyak dapat ditingkatkan dari 8% menjadi lebih dari 60%.

Karena besarnya investasi dan potensi untuk perolehan minyak tambahan (*additional recovery*), metoda yang terbaik

sangat diperlukan untuk membantu pengaturan aktivitas. Pengetahuan tentang distribusi uap secara vertikal dan horisontal sangat diperlukan pada aktivitas EOR. Informasi dari distribusi uap secara vertikal dalam reservoir akan membantu untuk mengoptimalkan penginjeksian uap, seperti untuk menentukan perubahan profil injektor dan laju penginjeksian. Informasi distribusi uap secara horisontal dapat digunakan untuk memperkirakan *steam breakthrough*, mengidentifikasi *bypassed oil* dan mengetahui *reservoir continuity barriers* seperti sesar. Informasi dari distribusi uap tersebut dapat diperoleh dengan menerapkan teknik seismik 4 dimensi.

### Kecepatan Gelombang Seismik

Gelombang seismik ada 2 macam yaitu gelombang P dan gelombang S. Kecepatan gelombang P dinyatakan sebagai : (Castagna, 1993)

$$V_p = \sqrt{\frac{k + 4\mu/3}{\rho}} \quad (1)$$

sedangkan kecepatan gelombang S dinyatakan sebagai :

$$V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \quad (2)$$

dengan  $k$  adalah modulus *bulk* batuan,  $\mu$  adalah modulus geser atau rigiditas batuan dan  $\rho$  adalah densitas *bulk* batuan. Kecepatan gelombang seismik dipengaruhi oleh saturasi fluida, tekanan dan temperatur.

Persamaan kecepatan gelombang P pada batuan yang berisi campuran air, uap dan bitumen dinyatakan oleh Tsingas dan Kanasewich (Geertsma, 1961) sebagai:

$$V_p^2 = \frac{1}{\rho} \left[ \frac{(k_m - k_d)^2}{k_m \left\{ 1 - \phi - \left( \frac{k_d}{k_m} \right) + \phi \left( \frac{k_m}{k_f} \right) \right\}} + k_d + \frac{4}{3} \mu \right] \quad (3)$$

Modulus *bulk* fluida pori  $k_f$  memenuhi :

$$\frac{1}{k_f} = S_w \left( \frac{1}{k_w} \right) + S_{st} \left( \frac{1}{k_{st}} \right) + S_{bit} \left( \frac{1}{k_{bit}} \right) \quad (4)$$

dan

$$\rho = \phi S_w \rho_w + \phi S_{st} \rho_{st} + \phi S_{bit} \rho_{bit} + (1 - \phi) \rho_m \quad (5)$$

dengan  $k_d$ ,  $k_m$ ,  $k_f$ ,  $k_w$ ,  $k_{st}$ ,  $k_{bit}$  adalah modulus *bulk* dari *rock skeleton*, matrik, fluida pori, air, uap dan bitumen

$\rho_m$ ,  $\rho_f$ ,  $\rho_w$ ,  $\rho_{st}$ ,  $\rho_{bit}$  adalah densitas matrik, fluida, air, uap dan bitumen

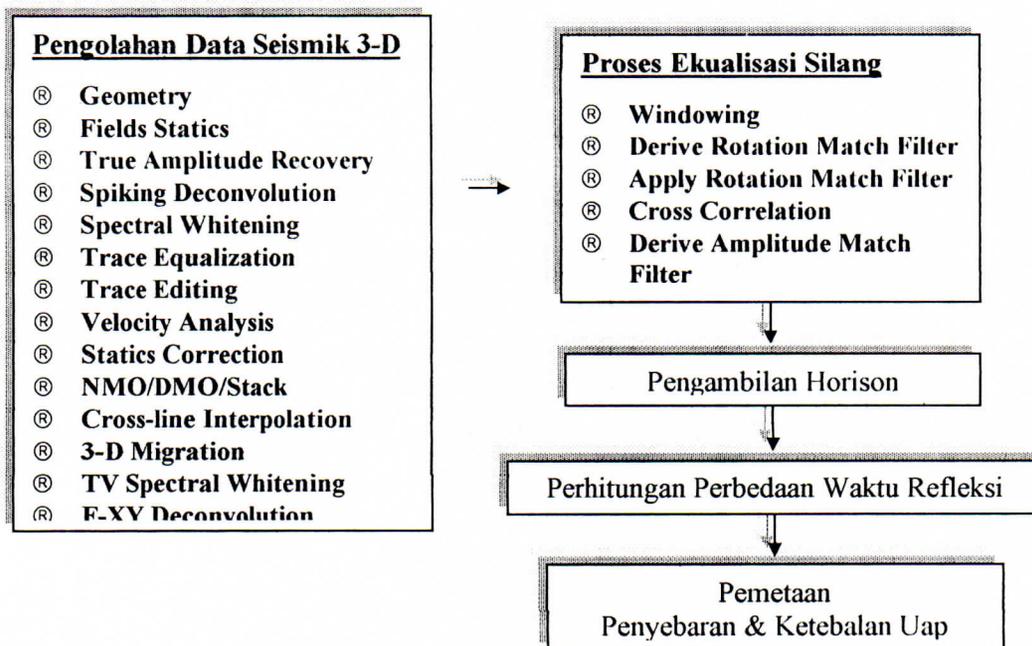
$S_w$ ,  $S_{st}$  dan  $S_{bit}$  adalah saturasi air, uap dan bitumen ( $S_w + S_{st} + S_{bit} = 1$ ) serta  $\phi$  adalah porositas.

Mobarak dan Somerton (1971) mengadakan pengukuran kecepatan gelombang kompresional pada sampel *sandstone* tersaturasi oleh minyak silikon (*silicon oil*). Hasil pengamatannya

menunjukkan bahwa kecepatan gelombang turun sebesar 10% saat temperatur dinaikkan dari 20°C sampai 200°C.

### METODE PENELITIAN

Secara garis besarnya pengolahan data dapat ditunjukkan dengan diagram alir seperti pada gambar (1).



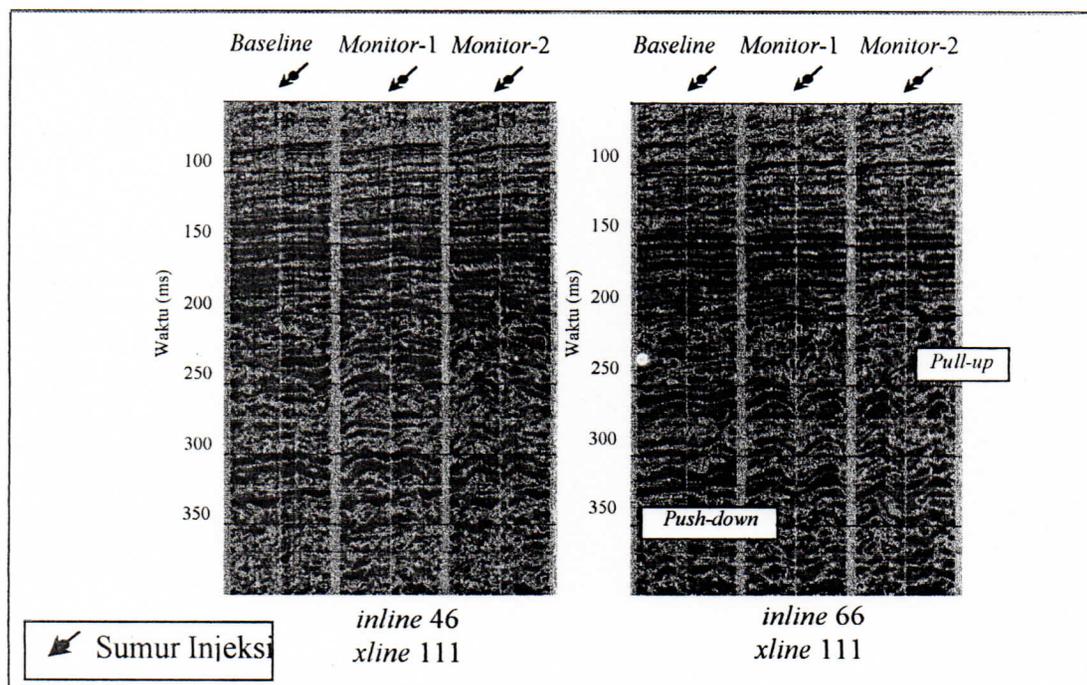
Gambar 1. Diagram alir metode penelitian

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pengaruh Uap pada Penampang Seismik

Perubahan penampang seismik pada *inline 46* dan *inline 66* yang masing-masing melalui sumur injeksi F3 dan F4 untuk data *baseline*, data *monitor 1* dan data *monitor 2*

ditunjukkan pada gambar (2). Data *baseline* di sebelah paling kiri dan selanjutnya secara berurutan data *monitor 1* dan data *monitor 2*. Interval waktu refleksi dari 0 ms sampai 160 ms (*inline 46*)



Gambar 2. Perubahan penampang seismik karena pengaruh uap

dan dari 0 ms sampai 150 ms (*inline 66*) tampak relatif tetap, tidak ada perubahan, sehingga diperkirakan pada interval tersebut tidak ada uap. Kemudian pada interval dari 200 ms sampai 250 ms jelas sekali tampak pola perubahannya yang besar, yaitu *event-*

*event* refleksi tampak berubah menjadi terputus-putus dan menyebar secara acak, yang diperkirakan merupakan zona uap. *Event-event* refleksi yang lebih dari 250 ms tampak relatif sama pola perubahannya (*push-down* dan *pull-up*) dan *event-event*

tersebut masih tetap kontinyu (tidak terputus). Perubahan struktur waktu refleksi yang berbentuk sinklin, puncaknya pada sumur injeksi. Perubahan tersebut karena pengaruh uap yang berada pada interval 200ms-250 ms.

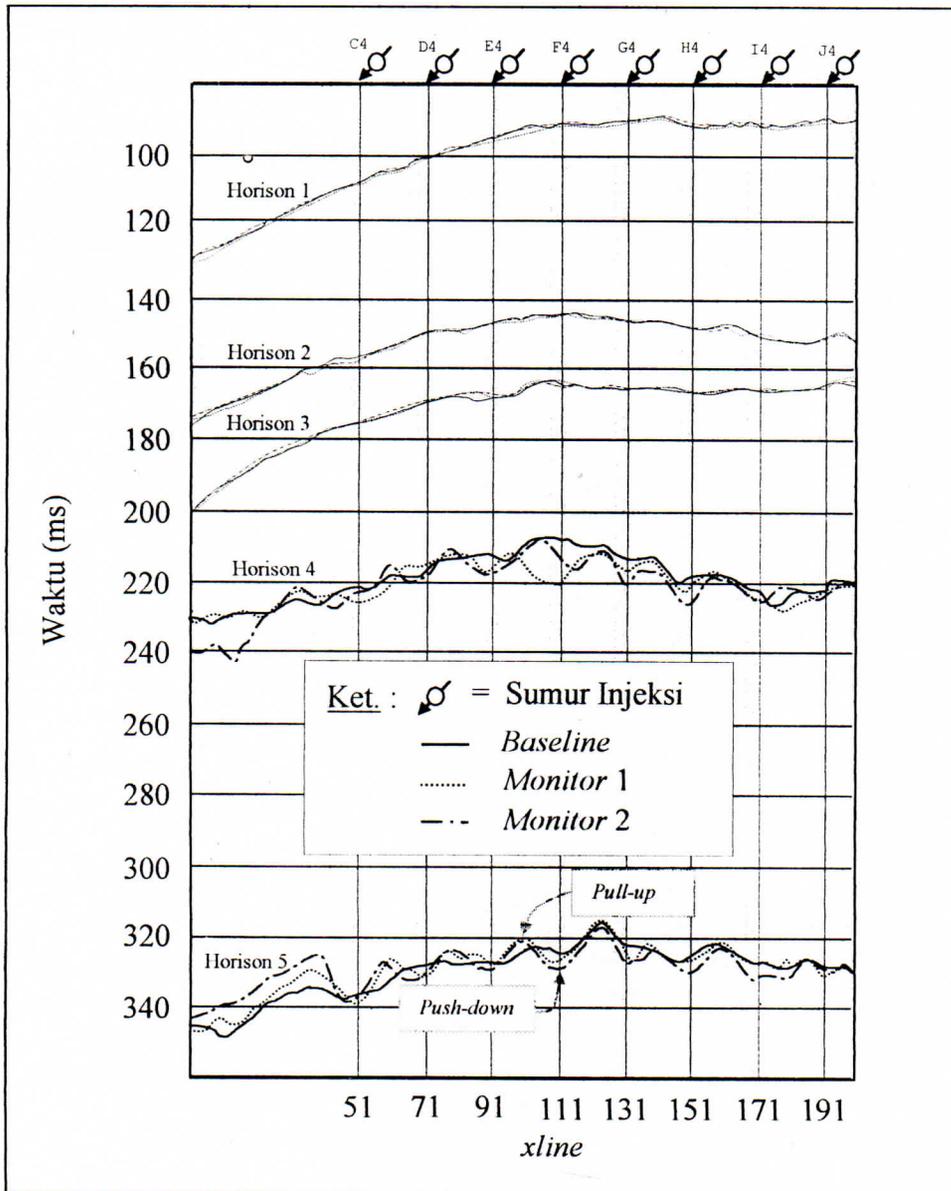
Penundaan waktu refleksi pada interval yang ada uapnya akan berpengaruh pada *event* refleksi yang lebih besar. *Event-event* refleksi secara vertikal sampai reflektor yang lebih dalam akan tertunda juga oleh zona uap yang ada di atas reflektor tersebut.

#### **Event-event refleksi**

Analisis yang sederhana dari waktu tempuh data 3-D dibuat dengan pemilihan *event-event* refleksi pada data *baseline* dan membandingkannya dengan *event-event* refleksi yang dipilih dari data *monitor 1* dan data *monitor 2*. Perbedaan waktu antara *event-event* refleksi data *monitor 1* dan data *monitor 2* terhadap data *baseline* merupakan perubahan waktu tempuh gelombang seismik setelah melalui daerah yang dipengaruhi oleh kehadiran uap. Perubahan waktu tempuh tersebut dapat digunakan untuk menentukan penyebaran dan ketebalan uap.

Gambar (3) adalah horison hasil pemilihan *event* refleksi dari data *baseline*,

data *monitor 1* dan data *monitor 2* pada *inline* 66. Hasil pemilihan *event* tersebut dari atas ke bawah berturut-turut horison 1, horison 2, horison 3, horison 4 dan horison 5. Untuk horison 1, horison 2 dan horison 3 dari *monitor 1* dan *monitor 2* terlihat hanya sedikit perubahan secara random (acak terhadap data *baseline* dan saling tumpang tindih (*overlapping*) satu sama lain. Hal tersebut memang seperti apa yang diharapkan, karena diperkirakan tidak ada penginjeksian uap di atas interval tersebut. Sedangkan untuk horison 4 dan horison 5 terlihat lebih besar perubahannya, dengan perubahan waktu terbesar sekitar 10 ms. Meskipun pada pusat injektor dan daerah di sekitarnya terjadi penundaan waktu refleksi (waktu tempuh semakin besar). Pada penampang seismik tampak *push-down* sekitar 10 ms akan tetapi refleksi yang berada agak jauh dari pusat sumur injeksi akan terjadi pengurangan waktu tempuh (waktu tempuh semakin kecil) atau sering dikenal sebagai "*pullep up*" sekitar 5 ms, karena adanya penurunan saturasi gas yang disebabkan oleh meningkatnya tekanan reservoir setelah dilakukan penginjeksian uap.



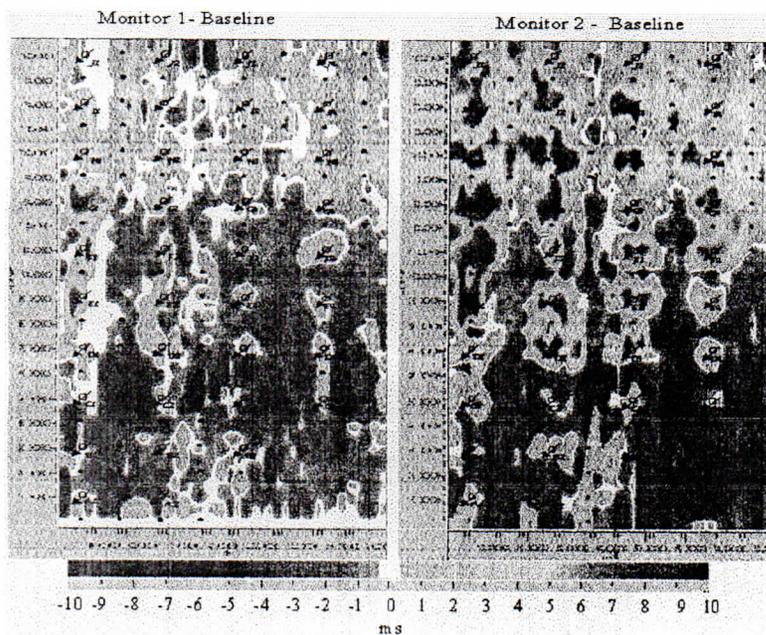
Gambar 3. Horison hasil pemilihan event refleksi dari data baseline, data monitor 1 dan monitor 2 pada inline 66.

### Pemetaan Perbedaan Waktu Refleksi

Analisis waktu tempuh dapat memberikan indikasi adanya uap di dalam reservoir, tetapi ada beberapa batasan pada metode ini. *Event-event* refleksi di atas dan di bawah zona uap mudah untuk dikorelasikan antara data *baseline* dan *monitor*, tetapi korelasi *event* sulit untuk horison-horison pada zona uap, seperti pada horison 4. Hal tersebut karena pada zona uap terjadi perubahan koefisien refleksi yang besar. Perubahan koefisien refleksi ini menghasilkan perubahan amplitudo dan

bentuk gelombang yang rumit, selain juga penundaan waktu refleksi. Hal ini dapat menyebabkan kesalahan struktur waktu saat pemetaan terhadap fase *event* yang tetap (seperti *peak* atau *trough* pada penampang seismik).

Suatu cara terbaik dalam pemetaan perbedaan waktu refleksi yang digunakan untuk menentukan penyebaran uap adalah memilih horison 5, karena pada horison tersebut *event-event* refleksi mudah dikorelasikan antara data *baseline* dengan *monitor*.



Gambar 4. Peta perbedaan waktu refleksi

Gambar 4 adalah peta perbedaan waktu refleksi yang didapatkan dengan cara mengurangkan horison 5 dari data *monitor* terhadap data *baseline*. Peta perbedaan waktu refleksi dari horison 5 didapatkan waktu tunda maksimal 10 ms disekitar sumur injeksi. Besarnya perbedaan waktu refleksi bertanda positif merupakan bentuk *push-down* dan negatif adalah bentuk *pull-up* yang ditunjukkan pada penampang seismik. Penyebaran uap di sekitar 9 sumur injeksi ( G1, G2, ... , J4) yang berada di *xline* 120 – 197 hampir merata di seluruh daerah tersebut yang ditunjukkan pada gambar 4. Keadaan ini diindikasikan pada daerah tersebut terjadi *steam breakthrough* (tembus uap) secara dini pada sumur-sumur produksi. Sedangkan untuk daerah lainnya *steam breakthrough* terjadi hanya pada beberapa sumur produksi saja, yaitu 2 sumur produksi yang berada di sekitar sumur injeksi F1, 3 sumur produksi di sekitar sumur injeksi F4, dan 1 sumur produksi di sekitar sumur injeksi D3. Di daerah antara *xline* 120-197 *steam breakthrough* terjadi lebih dahulu karena pada daerah tersebut sudah pernah dilakukan penginjeksian uap sebelum survai *baseline*. *Steam breakthrough* ini menyebabkan kurang

efektifnya proses penginjeksian uap dan produksi minyak menurun. Penyebaran uap yang baik adalah yang arah penyebarannya radial, sehingga meningkatkan produksi minyak melalui 8 sumur produksi di sekitar sumur injeksi. Salah satu pola penyebaran yang seperti itu dapat dilihat pada sumur injeksi E3.

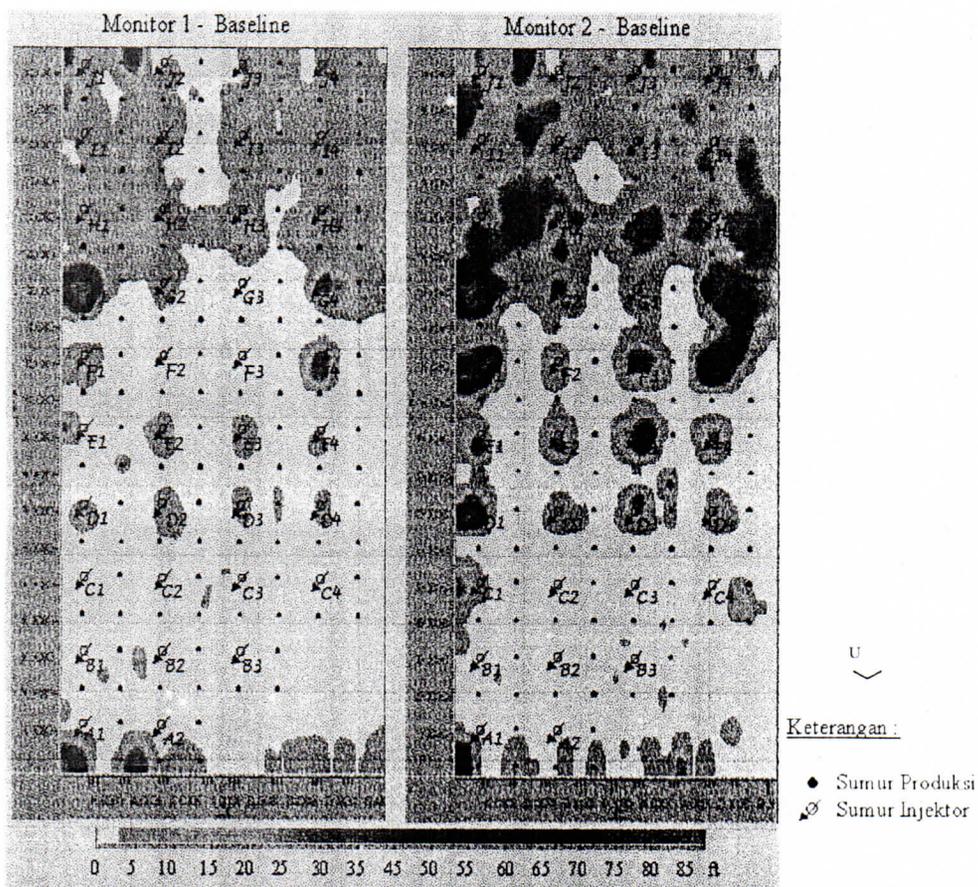
#### **Pemetaan Ketebalan Uap**

Peta ketebalan uap ditunjukkan pada gambar 5. Ketebalan uap semakin mengecil dari sekitar pusat injektor ke arah radial. Ketebalan uap terbesar adalah 87 ft yang terdapat pada daerah di sekitar sumur injeksi G1 (*monitor* 1), D1, F1, F4, dan G1 (*monitor* 2). Secara umum pola perkembangan uap cenderung ke segala arah. Sebagai contoh untuk daerah di sekitar sumur injeksi E3, arah perkembangannya hampir merata ke segala arah (radial), namun perkembangan cenderung lebih cepat ke arah utara dan selatan.

Kegunaan peta ini adalah untuk membantu pengaturan penginjeksian uap, sehingga menghasilkan minyak yang optimum. Seandainya penyebarannya tidak baik (tidak merata ke segala arah) maka akan

dilakukan choking pada sumur produksinya atau penghentian injeksi uap pada perforasi tertentu. Hal ini dimaksudkan untuk menghentikan arah penyebarannya hanya ke salah satu arah saja. Kemudian setelah selang

waktu tertentu penyebarannya sudah merata. Apabila penyebarannya sudah baik maka *choking* dihentikan. Jadi peta ini sangatlah penting untuk pengaturan penginjeksian uap pada proses EOR.



Gambar 5. Peta ketebalan uap

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan pada bab sebelumnya, maka dari penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Setelah beberapa bulan penginjeksian uap dilakukan, terbentuk "push-down" sampai mencapai 10 ms pada *event-event* refleksi yang ditunjukkan pada interval penginjeksian.
2. Perubahan-perubahan setelah penginjeksian uap diinterpretasikan sebagai hasil kombinasi efek kehadiran uap, efek termal dan efek tekanan pori.
3. Pola perkembangan dan penyebaran uap yang ditunjukkan oleh peta perbedaan waktu refleksi antara data *monitor* dan *baseline* tampak bervariasi ke segala arah, tetapi lebih cenderung kearah selatan dan utara.
4. Ketebalan uap maksimum yang ditunjukkan peta ketebalan uap adalah 87 ft.

### Saran

Agar penelitian selanjutnya memperoleh hasil yang maksimal maka ada beberapa saran antara lain :

1. Perlu ditambah data pendukung lain, seperti data profil temperatur, data log, data survai kripton dan data pengukuran kepala sumur, sehingga perubahan-perubahan di dalam reservoir secara detail dapat dideteksi dan pengaturan penginjeksian uap ke dalam reservoir dapat dilakukan secara baik yang akan meningkatkan perolehan minyak secara optimal.
2. Pada penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan metode yang lain dalam penentuan perbedaan waktu refleksi untuk membandingkannya dengan metode yang digunakan dalam penelitian ini.

### DAFTAR PUSTAKA

- Castagna, J. P., 1993, "The link between rock properties and AVO response". Soc. Expl. Geophysics.
- Dasiba, H., dan Fanandi, A., 1990, "Sejarah pengembangan proyek pendesakan uap Duri", Simposium Enhanced Oil Recovery, Jakarta, ATMI., p. 9-13.
- Geerstma, J., 1961, "Velocity-log interpretation. The effect of rock bulk compressibility", *J. Soc. Petr. Eng.*, v. 1, p. 235-248.
- Mobarak, S. A., and Somerton, W. H., 1971, "The effect of temperatur and pressure on wave velocities in porous rock", *SPE 3571, Annual Meeting in New Orleans.*