

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. *Decline Curve Analysis*

Persamaan *decline curve* pertama kali dikembangkan oleh Arps pada tahun 1944. Meskipun telah lebih dari tujuh puluh tahun, sejumlah besar studi tentang analisis penurunan produksi masih didasarkan pada metode empiris ini. Banyak makalah yang diterbitkan telah mencoba menafsirkan persamaan penurunan Arps secara teoritis. Penggunaan *decline curve analysis* selain untuk estimasi cadangan adalah untuk mengetahui jenis *drive mechanism* suatu reservoir. (M. Rahuma, Mohamed, Hissein, & Giuma, 2013)

Decline curve analysis adalah metode yang sering digunakan untuk estimasi cadangan, karena hanya memerlukan data sejarah produksi dalam perhitungannya. Data produksi yang dibutuhkan dalam perhitungan *decline curve analysis* merupakan data yang mudah didapatkan karena selalu dicatat secara rutin dan teliti. Ekstrapolasi dari sejarah produksi telah lama dianggap paling akurat dan merupakan metode yang dapat dipertahankan dalam mengestimasi cadangan minyak (Darwis, Ruchjana, & Permadi, 2009). Kurva yang dianalisis biasanya merupakan plot laju alir minyak vs waktu, kumulatif minyak vs waktu, atau laju alir minyak vs kumulatif minyak (Moghadam, Rostami, Joonaki, & Nejad, 2014). *Decline curve analysis* dapat digunakan untuk observasi suatu sumur, beberapa sumur, atau reservoir dengan persamaan matematis (Abdelkhalek, El-Banbi, & Sayyoub, 2017).

Tingkat produksi minyak akan menurun seiring berjalannya waktu, dan suatu saat penurunan akan mencapai batas yang telah ditentukan oleh perusahaan yang dianggap sudah tidak ekonomis yang disebut dengan *economic limit*. Ketika telah mencapai *economic limit* maka operasi produksi akan dihentikan. Pada *decline curve analysis*, titik perpotongan kurva ekstrapolasi dengan batas ekonomi akan menunjukkan perkiraan masa waktu produksi atau cadangan minyak pada masa yang akan datang. Asumsi perkiraan merupakan suatu perhitungan matematis berdasarkan data sejarah

sumur. Penurunan produksi yang diamati pada data sejarah sumur harus menggambarkan produktivitas reservoir sebagaimana adanya tanpa disebabkan oleh faktor eksternal, seperti perubahan dalam produksi karena kerusakan sumur, kontrol produksi, dan rusaknya peralatan. Selain itu kondisi reservoir harus stabil guna untuk mengekstrapolasikan kurva penurunan, dimana biasanya akan terpenuhi selama mekanisme produksi tidak berubah.

Secara umum *decline* dapat dibagi menjadi 3 jenis yaitu *exponential decline curve*, *hyperbolic decline*, dan *harmonic decline*. Berdasarkan harga eksponen *decline*-nya atau lebih dikenal dengan “b”. Harga b berkisar 0 hingga 1. Jika harga b=0 maka jenis kurvanya adalah *exponential decline*, jika harga (0≤b≤1) maka jenis kurva disebut *hyperbolic decline* dan jika harga b=1 jenis kurvanya adalah *harmonic decline* (Arps, 1944).

Persamaan Arps (1944) secara empiris merupakan hubungan antara laju produksi terhadap waktu yang ditunjukkan oleh **Persamaan (1)** dan **Persamaan (2)** di bawah ini. Untuk menentukan besarnya eksponen *decline* :

$$-b = \frac{d\left(\frac{q}{dq/dt}\right)}{dt} \dots\dots\dots (1)$$

Sebelum menghitung nilai cadangan, perlu dilakukan perhitungan nilai penurunan produksi per-bulan yang disebut dengan nilai D (*decline rate*). Secara umum nilai D dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan di bawah ini :

$$D = \frac{\left(\frac{q_t}{q}\right)^b - 1}{b.t} \dots\dots\dots (2)$$

Untuk lebih jelasnya tentang persamaan *decline curve* dapat dilihat pada **Tabel 2.1**.

Tipe *decline curve* ditentukan sebelum melakukan perkiraan jumlah cadangan dari suatu reservoir yang dikaji berproduksi hingga q_{limit} . Berdasarkan nilai b (eksponen *decline*), penentuan tipe *decline curve* yaitu dapat menggunakan metode *loss ratio* dan metode *trial error & x^2 chisquare-test*. Pada penelitian yang dilakukan oleh Meriandriani yang menghitung

besarnya cadangan sisa pada lapisan B PT. Pertamina EP Asset 1 Field Jambi, metode *trial error & x² chisquare-test* adalah metode yang terbaik dibandingkan metode *loss ratio*. Menurutnya metode *trial error & x² chisquare-test* adalah metode yang terbaik dengan hasil yang lebih optimis.

Tabel 2.1 Persamaan Tipe Decline Curve

| | Tipe Decline | | |
|--------------------------------|-------------------------------|---|--|
| | <i>Exponential</i> | <i>Hyperbolic</i> | <i>Harmonic</i> |
| Karakteristik | Penurunan konstan | Variasi penurunan berdasarkan kenaikan “b” | Penurunan berbanding lurus terhadap laju produksi |
| Eksponen | b = 0 | b ≠ 0, b ≠ 1 | b = 1 |
| Penurunan laju produksi | $q = q_i \cdot e^{-D_i t}$ | $q = q_i (1 + b D_i t)^{-\frac{1}{b}}$ | $q = q_i (1 + D_i t)^{-1}$ |
| Produksi Kumulatif | $N_p = \frac{(q_i - q)}{D_i}$ | $N_p = \frac{q_i^b}{(1 - b) D_i} (q_i^{1-b} - q^{1-b})$ | $N_p = \frac{q_i}{D_i} \ln \left(\frac{q_i}{q} \right)$ |

Sumber : (Rukmana & Kristanto, 2011)

2.1.1. Metode *Loss Ratio*

J.J. Arps (1944) mengembangkan teknik ekstrapolasi *decline curve* dengan menggunakan metode *loss ratio* (a). *Loss ratio* didefinisikan sebagai laju produksi pada akhir periode waktu produksi dibagi dengan kehilangan produksi (*loss*) selama periode tersebut ($q/(dq/dt)$), yaitu merupakan kebalikan dari *decline rate* dan disajikan dalam bentuk tabulasi untuk keperluan ekstrapolasi dan identifikasi daripada jenis *decline curve* (Rukmana & Kristanto, 2011). *Loss ratio* adalah metode *decline curve analysis* yang paling sederhana dan merupakan teori dasar untuk teknik yang lebih kompleks (Moghadam, Rostami, Joonaki, & Nejad, 2014).

Cukup banyak penelitian yang menggunakan metode *loss ratio* untuk estimasi cadangan minyak dan gas. Salah satunya penelitian yang dilakukan Omoniyi di tahun 2014 pada Eleke Field dan D4 Sand, Guico Field. Bahkan

penelitian yang dilakukan oleh Omoniyi membandingkannya dengan estimasi cadangan menggunakan *material balance*. Hasil yang didapat bahwa *decline curve analysis* yang diwakili metode *loss ratio* lebih inferior daripada *material balance* untuk estimasi, karena *decline curve analysis* merupakan fungsi empiris matematika berdasarkan sejarah performanya.

Langkah-langkah perhitungan *eksponen decline* (b) dengan metode *loss ratio* adalah sebagai berikut (Rukmana & Kristanto, 2011):

1. Membuat tabulasi yang meliputi : nomor, t (waktu), dt, q (laju alir), dq, a (*loss ratio*), da, dan b

2. Untuk kolom dt (*time*), menggunakan Persamaan :

$$dt = t_2 - t_1 \dots\dots\dots (3)$$

3. Untuk kolom dq (bbl/*time*), menggunakan Persamaan :

$$dq_n = q_1 - q_2 \dots\dots\dots (4)$$

4. Untuk kolom a (*loss ratio*), menggunakan Persamaan :

$$a_n = -\frac{q}{\frac{dq}{dt}} \dots\dots\dots (5)$$

5. Untuk kolom da, menggunakan persamaan :

$$da_n = a_1 - a_2 \dots\dots\dots (6)$$

6. Untuk kolom b, menggunakan persamaan :

$$b_n = -\frac{da}{dt} \dots\dots\dots (7)$$

7. Mengulangi prosedur perhitungan pada langkah 3 sampai langkah 6 untuk menghitung data-data selanjutnya

8. Kemudian untuk penentuan jenis kurva *decline* berdasarkan nilai b yaitu :

$$= \left| \frac{\sum b}{\text{jumlah data}} \right| \dots\dots\dots (8)$$

2.1.2. Metode *Trial Error & X² Chisquare –Test*

Metode *trial error & x² chisquare-test* yaitu memperkirakan harga q pada asumsi berbagai macam harga b, dan kemudian menentukan selisih terkecil dari q_{actual} dengan q_{forecast} yang sudah dihitung sebelumnya (Rukmana & Kristanto, 2011). Selain metode *loss ratio*, metode *trial error & x²*

chisquare-test juga sering digunakan pada tiap penelitian. Salah satunya ialah *Decline Curve Analysis In East Almagrouk Field-Case Study* oleh Alfitouri Ibrahim Jellah dan Mohamed Almagrouk Alhashi pada tahun 2015. Meskipun metode *trial error* & χ^2 *chisquare-test* merupakan metode yang cukup mudah digunakan, tetapi dari penelitian tersebut menyatakan bahwa *production decline analysis* juga dapat dipengaruhi oleh faktor manusia dan kondisi produksi selain dipengaruhi oleh tipe eksponen (b) atau faktor reservoir.

Prosedur perhitungan metode *trial error and* χ^2 *chisquare-test* adalah sebagai berikut (Rukmana & Kristanto, 2011):

1. Buat tabulasi yang meliputi: nomor, waktu (t), q_{actual} , kemudian q_{forecast} serta D_i dengan berbagai harga b, dan terakhir X^2 (selisih antara q_{actual} dengan q_{forecast}).
2. Asumsikan harga b mulai 0 sampai 1 (b = 0 untuk *exponential*, b = 0.1 – 0.9 untuk *hyperbolic*, b = 1 untuk *harmonic*).
3. Hitung D_i dengan perumpamaan :

- a. Pada b = 0, hitung D_i :

$$D_i = \frac{\ln\left(\frac{q_i}{q_t}\right)}{t_t} \dots\dots\dots (9)$$

- b. Pada b = 0.1 – 0.9, hitung D_i :

$$D_i = \frac{(q_i/q_t)^{b-1}}{b t_t} \dots\dots\dots (10)$$

- c. Pada b = 1, hitung D_i :

$$D_i = \frac{\left(\frac{q_i}{q_t}\right)^{-1}}{t_t} \dots\dots\dots (11)$$

4. Hitung q_{forecast} yaitu :

- a. Pada b = 0, hitung q_{forecast} :

$$q_n = q_n e^{-d_i t} \dots\dots\dots (12)$$

- b. Pada b = 0.1 – 0.9, hitung q_{forecast} :

$$q_n = q_i (1 + b D_i t)^{-1/b} \dots\dots\dots (13)$$

- c. Pada b = 1, hitung q_{forecast} :

$$q_n = q_i (1 + D_i t)^{-1} \dots\dots\dots (14)$$

Harga q_i = harga q_{actual} , harga D_i didapat dari langkah 3 dan harga dari $t = dt$.

5. Hitung persamaan X^2 (selisih antara q_{actual} dengan q_{forecast}) dengan menggunakan persamaan *chisquare – test* :

$$X^2_n = \left| \frac{(f_i - F_i)^2}{F_i} \right| \dots \dots \dots (15)$$

6. Mengulangi prosedur perhitungan pada langkah 3 sampai 5 untuk menghitung langkah-langkah selanjutnya.
7. Menentukan \sum harga X^2 yang paling kecil. Harga $\sum X^2$ yang paling kecil menunjukkan kurva yang paling fit untuk mewakili titik-titik data yang sedang dianalisis dengan harga :
- Exponential decline* : $b = 0$
 - Hyperbolic decline* : $b = 0.1 - 0.9$
 - Harmonic decline* : $b = 1$

2.2. Reservoir Lensa

Reservoir tipe lensa telah banyak ditemukan dan populer terutama di Amerika Serikat, dan berbagai penelitian telah dilakukan untuk dapat mengenali lebih dalam sifat dan karakter dari reservoir tersebut (Hidayat, 2016). Boardman dan Knutson pada tahun 1981 melakukan analisis untuk menentukan volume dan permeabilitas reservoir menggunakan data produksi gas, *well log*, dan data *pressure buildup* pada sumur gas di Uinta Basin, Utah. Peterson dan Kohout pada tahun 1983 melakukan perkiraan kontinuitas dan dimensi dari reservoir lensa untuk efisiensi dalam kegiatan *hydraulic fracturing* dan memperkirakan cadangan gas yang lebih akurat. Lorenz pada tahun 1985 melakukan penelitian untuk memperkirakan ukuran dan orientasi dari reservoir lensa pada Mesaverde Formation, Colorado. Pada tahun 1986, Mercer dan Frohne melakukan penelitian pada Rulison Area, Colorado, yang merupakan reservoir pasir lensa.

Lapangan yang memiliki reservoir lensa yang berada di Amerika diantaranya ialah di *southeastern* Louisiana, *southern* Missisipi, *southern* Alabama, *northwestern* Florida, *eastern* Kansas, dan *southern* Oklahoma

(National Petroleum Council Committee, 1970). Selain itu, reservoir lensa juga ditemukan di Delta Niger, terletak di puncak Teluk Guinea di pantai barat Afrika (Aizebeokhai & Olayika, 2010); area Barat July Field, Teluk Suez, Mesir (Afify & Ibrahim Hasan, 2013).

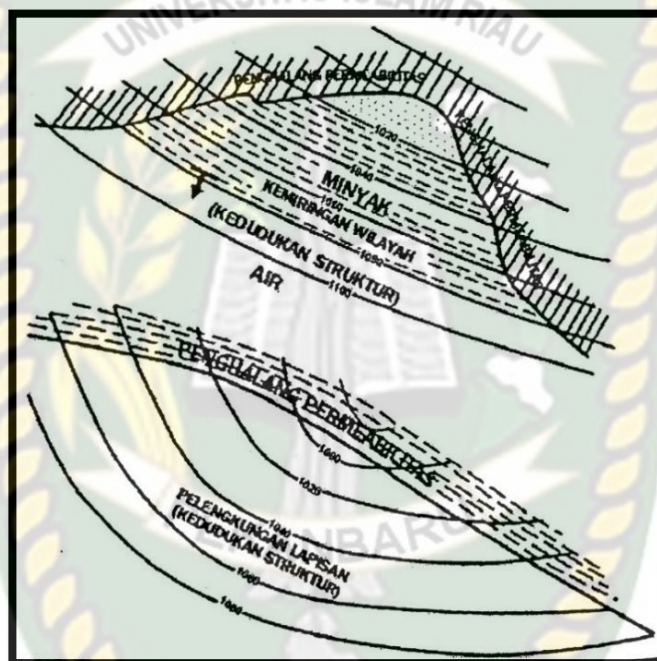
Reservoir lensa termasuk dalam kategori perangkap stratigrafi. Prinsip perangkap stratigrafi ialah minyak dan gas terjebak dalam perjalanannya ke atas, terhalang dari segala arah terutama dari bagian atas dan pinggir, karena batuan reservoir menghilang atau berubah fasies menjadi batuan lain atau batuan yang karakteristik reservoir menghilang sehingga merupakan penghalang permeabilitasnya. Perangkap stratigrafi pertama kali ditemukan di Pennsylvania pada tahun 1880, namun pada saat itu masih belum dapat diidentifikasi untuk dilakukannya ekspolarasi hingga akhirnya diketahui pada pertengahan 1930-an ketika seismologi telah diterapkan dalam industri perminyakan (Caldwell, et al., 1997)

Beberapa unsur utama perangkap stratigrafi (**Gambar 2.1**) adalah :

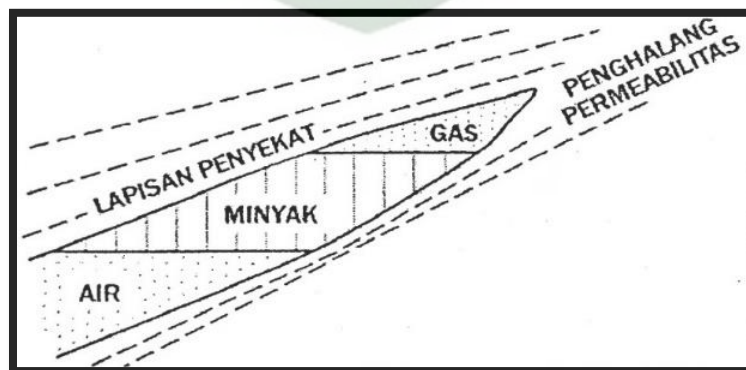
1. Adanya perubahan sifat lithologi dengan beberapa sifat reservoir, ke satu atau beberapa arah sehingga merupakan penghalang permeabilitas.
2. Adanya lapisan penutup/penyekat yang menghimpit lapisan reservoir tersebut ke arah atas atau ke pinggir.
3. Keadaan struktur lapisan reservoir yang sedemikian rupa sehingga dapat menjebak minyak yang naik. Kedudukan struktur ini sebetulnya melokalisasi posisi tertinggi daripada daerah potensial rendah dalam lapisan reservoir yang telah tertutup dari arah atas dan pinggir oleh beberapa unsur tersebut di atas. Kedudukan struktur ini dapat disebabkan oleh kedudukan pengendapan atau juga karena kemiringan wilayah.

Perubahan sifat litologi/ sifat reservoir ke suatu arah daripada lapisan reservoir dapat disebabkan :

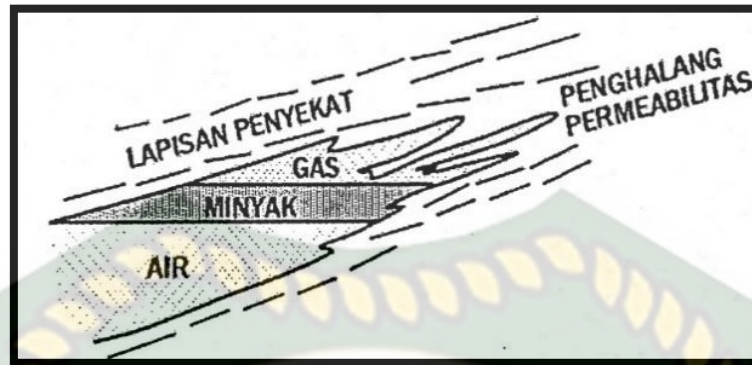
- A. Pembajian, dimana lapisan reservoir yang dihimpit di antara lapisan penyekat menipis dan menghilang, dapat dilihat pada **(Gambar 2.2)**
- B. Penyerpihan (shale-out), dimana ketebalan tetap, akan tetapi sifat litologi berubah **(Gambar 2.3)**
- C. Persentuhan dengan bidang erosi, dimana suatu lapisan dapat berakhir ke suatu arah **(Gambar 2.4)**



Gambar 2.1 Beberapa Unsur Utama Dalam Perangkat Stratigrafi Penghalang Permeabilitas dan Kedudukan Struktur (Rukmana & Kristanto, 2011)



Gambar 2.2 Pembajian Lapisan Reservoir Sebagai Unsur Perangkat Stratigrafi (Rukmana & Kristanto, 2011)



Gambar 2.3 Penyerpihan Lapisan Reservoir Sebagai Unsur Perangkap Stratigrafi (Rukmana & Kristanto, 2011)



Gambar 2.4 Unsur Perangkap Disebabkan Pemancungan Lapisan Reservoir (Rukmana & Kristanto, 2011)

2.3. *Root Mean Square Error (RMSE) dan Mean Absolute Percentage Error (MAPE)*

Evaluasi suatu estimasi perlu dilakukan untuk menggambarkan seberapa baik hasil peramalan tersebut. Sangat penting untuk kita mengevaluasi suatu kinerja teknik peramalan secara hati-hati agar dapat sesuai dengan keadaan di masa depan (Montgomery, Jennings, & Kulahci, 2008). Perhitungan yang sering digunakan untuk mengevaluasi hasil peramalan yaitu dengan metode *Root Mean Square Error (RMSE)*. RMSE digunakan untuk membandingkan metode-metode estimasi yang digunakan, yaitu untuk menentukan estimasi yang paling akurat (Widayati, 2009). Keakuratan metode estimasi kesalahan pengukuran diindikasikan dengan adanya RMSE yang kecil. RMSE dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$RMSE = \sqrt{\sum \frac{(Y_t - Y'_t)^2}{n}} \dots\dots\dots (16)$$

Selain RMSE terdapat perhitungan untuk evaluasi hasil peramalan lainnya, yaitu *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE). Metode ini melakukan perhitungan error dalam bentuk persentase terhadap data asli. Suatu model mempunyai kinerja sangat bagus jika nilai MAPE berada di bawah 10% dan mempunyai kinerja bagus jika nilai MAPE berada diantara 10% dan 20% (Septiawan & Astuti, 2016). MAPE ditentukan dengan persamaan :

$$PE = \left(\frac{X_t - F_t}{X_t} \right) (100) \dots\dots\dots (17)$$

$$MAPE = \sum \frac{|PE_t|}{n} \dots\dots\dots (18)$$