



## Analisis Pengaruh Temperatur, pH dan Laju Alir Terhadap Pembentukan *Scale*

Mawar Natasya Marbun, Nijusiho Manik, dan Abdul Gafar Karim

Teknik Perminyakan Sekolah Tinggi Teknologi Migas  
Jl. Kesatrian Km. 8, Balikpapan Utara, Kota Balikpapan, Kalimantan Timur 76127

### ABSTRAK

#### Artikel Info:

Naskah Diterima:

12 Juni 2025

Diterima setelah

perbaikan:

11 Juli 2025

Disetujui terbit:

25 Juli 2025

#### Kata Kunci:

*scale*  $\text{CaCO}_3$

alat simulator

temperatur

pH

laju alir

Sumur LMN-47 memiliki potensi pembentukan *scale* paling banyak dibanding dengan sumur lain yang ada di Lapangan Karbonat Utara dengan nilai *Scale Indeks* paling tinggi yaitu 1,39. Kondisi sumur ini juga berbeda karena pembentukan *scale* yang hanya terjadi pada tubing perforatennya dibanding sumur lainnya yang pembentukan *scalennya* di semua rangkaian pompa. Mekanisme pembentukan *scale* berkaitan erat dengan kandungan yang ada pada air formasi dan dipengaruhi oleh parameter temperature, pH, dan laju alir. Sehingga perlu dilakukan pengujian untuk mengetahui pembentukan *scale* dengan parameter temperature, pH, dan laju alir yang sesuai dengan kondisi aktual pada sumur melalui alat *scale simulator*. Dari simulasi pada alat *scale simulator* yang di rancang dengan laju alir 15,2279 liter/menit, pH 7,99 dan suhu 56,29 °C di dapatkan *scale* karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) yang terbentuk sebanyak 6,14 gram. Hasil analisis yang dilakukan membuktikan bahwa semakin tinggi temperature akan mempercepat laju pertumbuhan *scale* karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ), semakin pH bersifat basa maka *scale* juga akan semakin cepat bertumbuh demikian juga dengan laju alir yang berbanding lurus dengan temperature dan pH.

### ABSTRACT

*The LMN-47 well has the highest potential for scale formation compared to other wells in Field X, with the highest Scale Index value of 1.39. This well is also unique because scale formation occurs only on the tubing perforation, whereas in other wells, scale forms throughout the entire pump string. The mechanism of scale formation is closely related to the composition of formation water and is influenced by temperature, pH, and flow rate parameters. Therefore, testing is required to determine scale formation under temperature, pH, and flow rate conditions that match the actual well conditions using a scale simulator tool. From the simulation conducted with a flow rate of 15.2279 liters/minute, pH of 7.99, and temperature of 56.29 °C, 6.14 grams of carbonate scale ( $\text{CaCO}_3$ ) were formed. The analysis results show that the higher the temperature, the faster the growth rate of carbonate scale ( $\text{CaCO}_3$ ). Similarly, the more alkaline the pH, the faster the scale growth, and the flow rate is directly proportional to temperature and pH.*

© LPMGB - 2025

### PENDAHULUAN

Suatu sumur pada proses produksi biasanya menghasilkan 3 jenis fluida, yaitu air,minyak, dan gas. Ketiga *fluida* tersebut mengalir dari *reservoir* menuju permukaan melalui peralatan *subsurface*

(*tubing, artificial lift*) kemudian menuju ke peralatan *surface* melalui *flowline* ke sistem pengumpul. Adanya gesekan antara *fluida* dengan dinding pipa baik pada *flowline* maupun *pipeline* selama aliran *fluida*, dapat mengakibatkan perubahan tekanan dan

Korespondensi:

E-mail: [mawarnatasyamarbun@gmail.com](mailto:mawarnatasyamarbun@gmail.com) (Mawar Natasya Marbun)

laju alir *fluida*. Dalam hal ini dapat menyebabkan terbentuknya endapan di dinding pipa sehingga mengganggu aliran akibat adanya pengecilan inside diameter pipa. Umumnya permasalahan produksi ini terjadi pada lingkungan *subsurface* maupun *surface facilities* di suatu lapangan minyak (Gilang 2021)

Penurunan produksi pada *reservoir* biasanya dipengaruhi permasalahan produksi salah satunya adalah karena adanya endapan *scale* yang terdapat dalam formasi maupun peralatan produksi. (Gusfarozi 2021)

Skala merupakan padatan hasil dari kristalisasi dan pengendapan mineral dari air formasi yang ikut terproduksi bersama minyak dan gas. Kecenderungan terbentuknya *scale* pada air formasi dapat diketahui dengan, dilakukan pengujian terhadap air formasi di laboratorium. Analisis air formasi dilakukan dengan metode Stiff & Davis dengan mengukur kadar ion-ion yang terkandung pada air formasi untuk mengetahui nilai Scale Indeks (SI) (Gusfarozi 2021).

Macam-macam *scale* yang terjadi tergantung pada komposisi air formasi (kandungan ion-ion dalam air formasi). Air formasi merupakan *fluida* yang dapat melarutkan ion-ion yang terdapat dalam *reservoir*. Air formasi yang terproduksi bersama minyak dan gas mengandung beberapa senyawa dalam bentuk ion-ion, yaitu *kation* (ion positif) dan *anion* (ion negatif). *Kation* dari air formasi berupa Kalsium, Magnesium, Ferrum, Barium, Natrium dan Strontium. *Anion* dari air formasi adalah Klorida Karbonat, Bikarbonat dan sulfat. Skala yang menempel pada *flowline* akan menyebabkan kerusakan pipa dan menghambat laju produksi minyak dan gas (Gilang 2021).

Dalam kebanyakan kasus, penyusun utama *scale* adalah kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ). (Isopescu 2010) Kinetika nukleasi dan pertumbuhan kalsium karbonat dipengaruhi oleh berbagai kondisi operasi, seperti supersaturasi larutan suhu, pH, suhu dan ion asing (Muryanto 2013).

Air formasi yang mempunyai derajat kebasaaan (pH) besar akan mempercepat terbentuknya endapan *scale*. Meningkatnya pH dipengaruhi oleh kandungan  $\text{CO}_2$  dalam air formasi yang apabila tekanan turun, maka  $\text{CO}_2$  akan terbebaskan dari larutan sehingga menyebabkan pH air akan meningkat dan terjadi pengendapan  $\text{CaCO}_3$ . Semakin basa sifat air formasi maka semakin cepat pengendapan  $\text{CaCO}_3$ , sebaliknya apabila pH pada air formasi semakin asam maka sulit terjadi pengendapan  $\text{CaCO}_3$ . (Engineering 2013). Temperatur dapat mempengaruhi proses

pembentukan *scale*  $\text{CaCO}_3$ , karena kenaikan temperatur akan menyebabkan adanya penguapan yang membuat jumlah air akan berkurang, sehingga dapat mempercepat proses pengendapan *scale*  $\text{CaCO}_3$ . Fenomena ini dapat digunakan untuk menjelaskan terbentuknya *scale* pada formasi sumur-sumur injeksi yang mempunyai tekanan dasar sumur yang cukup tinggi, serta *scale* yang terjadi pada rangkaian pipa produksi. (Engineering 2013)

Laju alir dapat mempercepat pembentukan *Scale*  $\text{CaCO}_3$  karena akan menyebabkan waktu induksi lebih cepat. Semakin cepat waktu induksi atau semakin banyak ion-ion yang bereaksi dan mengendap karena peningkatan laju alir maka akan menjadikan konduktivitas larutan menjadi lebih kecil. Sehingga massa *scale* yang terbentuk akan lebih banyak. Laju aliran yang lebih tinggi menghasilkan lebih banyak ion pembentuk *scale* yang menghasilkan lebih banyak massa *scale*. (Ma'mun dkk., 2013)

Berdasarkan dari *history* produksi PT Pertamina EP Sangasanga *Field*, pada bulan maret hingga Bulan September 2024 terdapat 7 sumur produksi minyak yang produksinya menurun. Setelah melakukan pengambilan sampel untuk analisa uji air formasi sumur, diketahui sumur - sumur tersebut mengalami kendala dan penurunan produksi yang disebabkan oleh *stuck* pada pompa, sehingga kegiatan produksi minyak terhambat. Pompa yang *stuck* disebabkan oleh adanya penumpukan endapan *scale* yang ditemukan pada *down hole pump* (DHP), *barel* pompa, dinding *plunger*, bahkan *scale* juga ditemukan menempel pada diameter *tubing* hingga diameter *tubing* mengecil.

Pada salah satu sumur memiliki kondisi yang berbeda dengan sumur lainnya yang juga sama-sama terindikasi *scale*, dimana setelah rangkaian pompa diangkat *scale* hanya terbentuk pada bagian *tubing perforate*-nya saja sedangkan untuk rangkaian pompa dan *tubing* lainnya tidak. Berbeda dengan sumur yang lainnya dimana seluruh rangkaian pompa dan *tubing* terdapat endapan *scale*. Hal ini menunjukkan bahwa perlu dilakukan pengujian untuk membuktikan seberapa besar pengaruh *temperature*, pH, dan laju alir terhadap pembentukan *scale*.

## Tinjauan Pustaka

### Analisa air formasi

Air formasi ini merupakan air yang mengandung kadar asam yang tinggi. Air formasi biasanya disebut dengan *oil field water* atau *connate water*

atau *inertial water* yang mempunyai komposisi kimia yang berbeda-beda antara *reservoir* yang satu dengan yang lainnya. Air ini biasanya mengandung bermacam-macam garam dan asam, terutama NaCl.

### Endapan *scale*

*Scale* merupakan suatu endapan yang terbentuk akibat kristalisasi ion mineral yang larut dalam air dan disebabkan oleh adanya senyawa pembentuk endapan didalam air melebihi kelarutannya pada keadaan kesetimbangan.

### Jenis-jenis *scale*

*Scale* Terbagi menjadi beberapa macam jenis tergantung dari ion-ion yang terkandung didalamnya. Adapun jenis-jenis *scale* adalah sebagai berikut:

#### Proses kristalisasi kalsium karbonat

Konsentrasi kalsium terhadap waktu dapat dijelaskan melalui tiga langkah. Pada langkah pertama, dimana konsentrasi kalsium tetap konstan, tidak terjadi presipitasi. Selama langkah ini, pH meningkat karena penghilangan CO<sub>2</sub> dari larutan oleh udara atmosfer. pH larutan mencapai nilai maksimum yang didefinisikan sebagai pH presipitasi (*Phprec*).

Pada langkah kedua, konsentrasi kalsium menurun karena pembentukan kristal kalsium karbonat. Hal ini konsisten dengan penurunan pH larutan yang diamati selama tahap ini.

Kemudian, ketika laju pertumbuhan kalsium karbonat menjadi lebih rendah daripada laju penghilangan karbonat, pH mulai bergeser ke nilai yang lebih tinggi karena penghilangan karbonat yang

terus berlanjut. Konsentrasi kalsium menjadi stabil, yang menunjukkan bahwa presipitasi telah berakhir.

### Pengaruh temperature terhadap kalsium karbonat

Tempertaur dapat mempengaruhi proses pembentukan *scale* CaCO<sub>3</sub>, karena kenaikan temperatur akan menyebabkan adanya penguapan yang membuat jumlah air akan berkurang, sehingga dapat mempercepat proses pengendapan *scale* CaCO<sub>3</sub>. Akibat dari peningkatan suhu adalah mempercepat pertumbuhan nukleasi kalsium karbonat dan pertumbuhan kristal karena waktu induksi menurun dan laju pertumbuhan kristal awal kalsium karbonat meningkat secara signifikan. Hal ini disebabkan oleh supersaturasi yang lebih tinggi terhadap aragonit (dalam kisaran 40–69) dan vaterit (antara 12 dan 21). Selain itu, jumlah yang lebih tinggi (ratio presipitasi total dalam kisaran 77–85%). Peningkatan suhu menurunkan kelarutan CaCO<sub>3</sub>.

### Pengaruh pH terhadap kalsium karbonat

Peningkatan pH mempercepat pembentukan kalsium karbonat seperti pada penelitian sebelumnya bahwa, peningkatan konsentrasi besi pada pH 7 dan 8 menghasilkan penurunan waktu induksi dan laju pertumbuhan kristal awal kalsium karbonat. Tetapi untuk pH 9, presipitasi terjadi seketika. Jumlah presipitasi yang diperoleh meningkat dengan peningkatan pH, dan mencapai 100%. Supersaturasi larutan meningkat seiring dengan peningkatan pH larutan awal yang mempercepat pembentukan inti dan pertumbuhan kalsium karbonat.

Tabel 1. Jenis-jenis *scale*

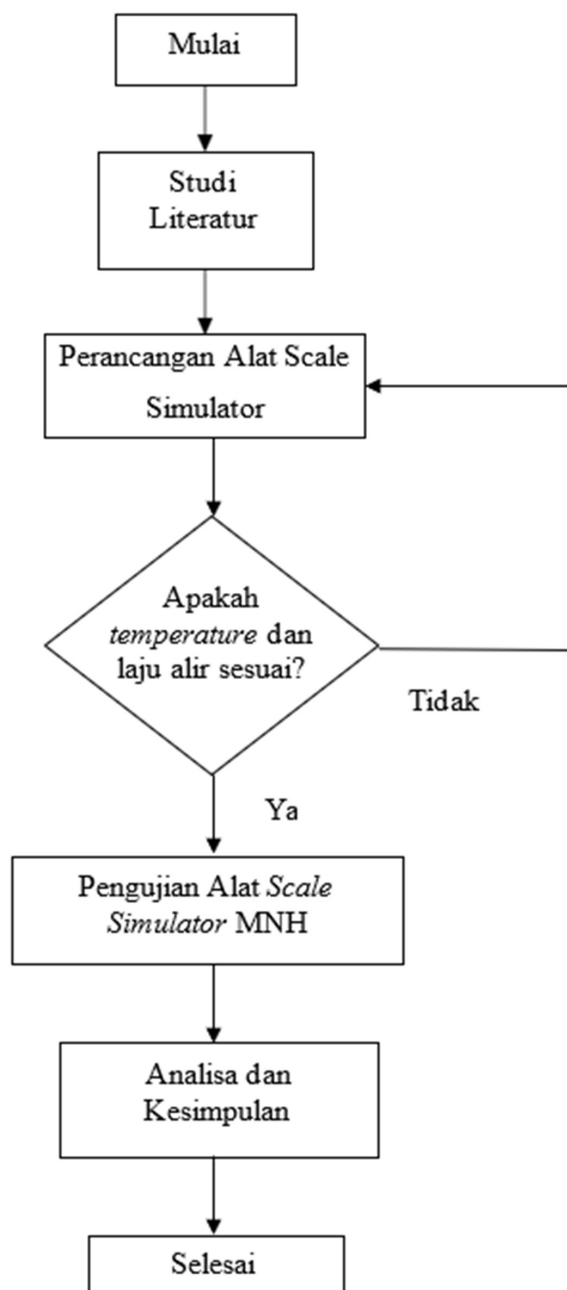
| Jenis Scale                         | Rumus Kimia                                           | Faktor Penting yang Berpengaruh                                   |
|-------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| <i>Calcium Carbonat (Calcite)</i>   | CaCO <sub>3</sub>                                     | Tekanan, <i>Temperature</i> , total <i>dissolve Salinity</i> , pH |
| <i>Calcium sulfat Gypsum</i>        | CaSO <sub>4</sub> . 2H <sub>2</sub> O                 | Tekanan, <i>Temperatur</i> , total <i>dissolve salinity</i>       |
| <i>Hemihydrate</i>                  | CaSO <sub>4</sub> . 1/2 H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> |                                                                   |
| <i>Anhydrite</i>                    | CaSO <sub>4</sub>                                     |                                                                   |
| <i>Barium Sulfat (Barite)</i>       | BaSO <sub>4</sub>                                     | Tekanan, <i>Temperatur</i> , total <i>dissolve salinity</i>       |
| <i>Stronsium Sulfat (celestite)</i> | SrSO <sub>4</sub>                                     | Tekanan, <i>Temperatur</i> , total <i>dissolve salinity</i>       |
| <i>Iron Compounds</i>               |                                                       |                                                                   |
| <i>Ferro Carbonat</i>               | FeCO <sub>3</sub>                                     | Hasil korosi, <i>dissolve gas</i> , dan pH                        |
| <i>Ferro Sulfida</i>                | FeS                                                   |                                                                   |
| <i>Ferro Hydrixide</i>              | Fe (OH) <sub>2</sub>                                  |                                                                   |
| <i>Ferro Oxide</i>                  | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                        |                                                                   |

### Pengaruh laju alir terhadap kalsium karbonat

Laju alir dapat mempercepat pembentukan *Scale*  $\text{CaCO}_3$  karena akan menyebabkan waktu induksi lebih cepat. Semakin cepat waktu induksi atau semakin banyak ion-ion yang bereaksi dan mengendap karena peningkatan laju alir maka akan menjadikan konduktivitas larutan menjadi lebih kecil. Sehingga massa *scale* yang terbentuk

akan lebih banyak. Laju aliran yang lebih tinggi menghasilkan lebih banyak ion pembentuk kerak yang menghasilkan lebih banyak massa *scale*.

### BAHAN DAN METODE



Gambar 1. Diagram alir penelitian

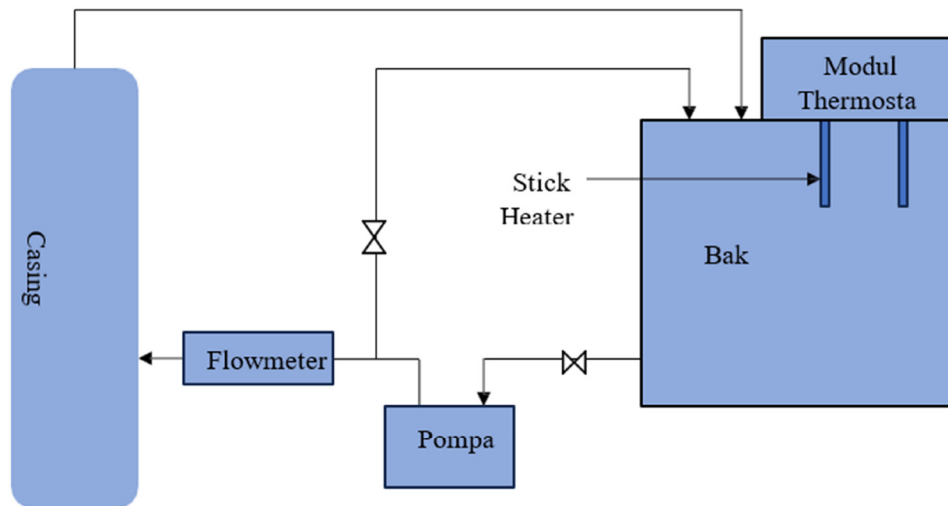
## Prosedur penelitian

Agar penelitian dapat berjalan dengan lancar maka perlu dibuatlah suatu prosedur penelitian agar tercapainya tujuan penelitian: 1). Siapkan peralatan yang dibutuhkan; 2). Mengisi bak penampungan dengan air formasi sumur LMN-47; 3). Pasang dan hubungkan *stick heater* dengan modul thermostat; 4). Atur modul thermostat dengan memberikan batas atas 57 °C dan batas bawah 50 °C; 5). Lubangi tutup bak penampungan sesuai ukuran diameter *stick heater*, pipa pembuangan air, dan sensor modul thermostat; 6). Sambungkan semua *line* dari bak penampungan menuju pompa, kemudian menuju

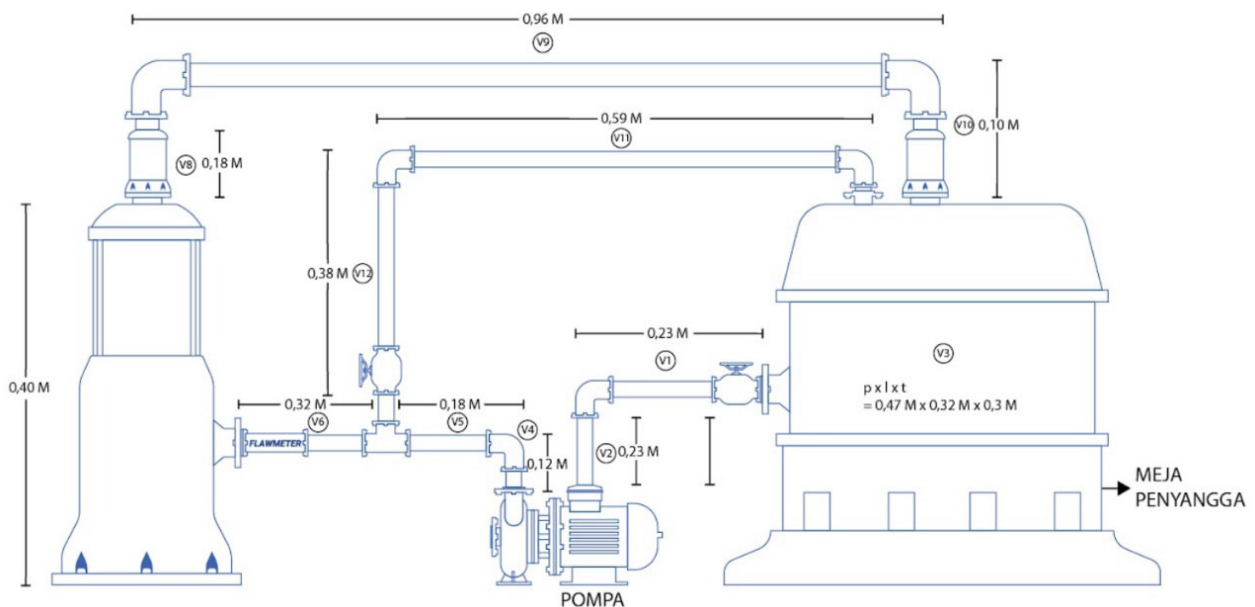
*flowmeter*, *casing*, *tubing* kemudia masuk ke bak penampungan kembali dengan memberi *valve* di beberapa titik penghubung; 7). Hubungkan kabel dari modul thermostat dengan kabel sumber listrik untuk menghidupkannya; 8). Lakukan simulasi dan mulai sirkulasi air formasi dengan menyalakan pompa dan modul thermostat selama 124 jam. 9). Selanjutnya lakukan pengambilan data dengan membongkar *tubing* dari dalam *casing* untuk melihat pembentukan *scale* pada *tubing perforate*.

## Skema alat *scale simulator*

### Desain alat *scale simulator*



Gambar 2. Skema Alat *Scale Simulator*



Gambar 3. Desain alat *scale simulator*

## Bagian-bagian Alat *Scale Simulator*

### Pompa

Pompa digunakan untuk mengalirkan *fluida* dari bak penampung menuju ke *tubing perforate*.

### Bak penampungan

Bak penampung digunakan untuk menampung air formasi yang akan dialirkan ke pompa dan selanjutnya akan dialirkan ke *tubing perforate* kemudian ke pipa pvc dan kembali ke bak penampungan kembali. Dalam istilah lain bak penampung disebut juga *reservoir* merupakan salah satu unit distribusi pada sistem penyediaan air formasi. Ukuran bak penampungan yang digunakan ialah dengan panjang : 0,47 meter, lebar : 0,32 meter, dan tinggi : 0,3 meter.

### Rangkaian pipa

Rangkaian pipa pada alat *Scale Simulator* merupakan *line* yang akan dialiri air formasi yang terdiri dari beberapa sambungan.

### Valve

*Valve* adalah sebuah perangkat yang mengatur, mengendalikan, dan mengarahkan aliran *fluida* dengan cara membuka, menutup, atau menghambat sebagian aliran tersebut.

### Flowmeter

*Flowmeter* adalah alat ukur yang digunakan untuk mengukur besaran aliran *fluida* yang terdapat pada suatu aliran.

### Casing

Ukuran *casing* yang digunakan ialah memiliki diameter 7 inch, tinggi 0,45 m sesuai dengan ukuran yang ada pada sumur.

### *Tubing perforate*

*Tubing perforate* merupakan *tubing* yang akan dialiri air formasi saat proses sirkulasi yang dibuat dari bahan besi dan diberi lubang sebanyak 12 dengan diameter yang berbeda beda.

### Thermostat

*Thermostat* adalah suatu alat yang digunakan untuk membantu pengaturan suhu selama proses simulasi dilakukan.

### Stick heater

*Heater* adalah alat yang dirancang untuk menghasilkan panas dan meningkatkan suhu pada air formasi.

## Cairan yang digunakan

### Air formasi

Air formasi yang digunakan adalah air formasi pada sumur LMN-47 dengan kondisi sumur yang memiliki *watercut* sebesar 90% yang berada di kedalaman 789 Mmd. Air formasi menjadi salah satu yang mempengaruhi pembentukan *scale* dikarenakan ada beberapa ion kation dan anion yang terlalu dominan sehingga membentuk *scale*.

### Alat ukur yang digunakan

#### Kaliper

Pada penelitian ini alat ukur kaliper digunakan untuk mengukur ID (*Inside Diameter*) dari 12 lubang pada *tubing perforate*, OD (*Outside Diameter*) *tubing Perforate* untuk mengetahui berapa banyak *scale* yang terbentuk pada *tubing perforate*. Kaliper juga digunakan untuk mengukur ID (*Inside Diameter*) pada setiap line yang dialirkan air formasi seperti *casing*, pipa pvc, dan *connector* yang ada.

#### Timbangan

Pada penelitian ini timbangan digunakan untuk mengukur berat dari *scale* yang terbentuk pada keseluruhan *tubing perforate*.

#### Meteran

Pada penelitian ini meteran yang digunakan sebagai alat ukur untuk mengetahui panjang atau tinggi dari beberapa alat yang akan digunakan.

#### Stopwatch

*Stopwatch* pada penelitian ini digunakan untuk mengatur laju alir yang sudah ditetapkan pada waktu satu menit.

## HASIL DAN DISKUSI

### Menghitung Scale Indeks Menggunakan Metode Stiff & Davis

|                                          |                |
|------------------------------------------|----------------|
| Sample air formasi sumur LMN-47          |                |
| pH                                       | : 7, 990       |
| Calcium Ca <sup>2</sup>                  | : 40,00 mg/L   |
| Bikarbonat HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | : 7808,00 mg/L |
| Ion Strenght                             | : 0.2339954    |

Menentukan negatif logaritma dari konsentrasi Ca (pCa) menggunakan persamaan (dan untuk menentukan negatif logaritma dari konsentrasi total alkalinity (pAlk) juga menggunakan persamaan.

Maka dapat dihitung sabagai berikut :

Mencari nilai pCa:

$$pCa = 4,5977 - 0,4337 \ln (Ca^{2+})$$

$$pCa = 4,5977 - 0,4337 \ln (40,00) \quad (1)$$

$$pCa = 2,997832 \text{ mg/L}$$

Mencari nilai pAlk:

$$pAlk = 4,8139 - 0,4375 \ln (HCO_3)$$

$$pAlk = 4,8139 - 0,4375 \ln (7808,00) \quad (2)$$

$$pAlk = 0,89262 \text{ mg/L}$$

Maka *Scale Indeks* pada air formasi sumur LMN-47 sebelum disirkulasikan adalah:

$$SI = pH_w - K - pCa - pAlk$$

$$SI = 7,990 - 2,7 - 2,99783 - 0,89262 \quad (3)$$

$$SI = 1,39955$$

### Analisis pembentukan *scale*

#### *Tubing perforate*

*Tubing Perforate* yang digunakan berukuran 2 7/8 inch sesuai dengan ukuran aktual yang ada di dalam sumur. Setelah disirkulasikan terjadi perubahan pada diameter *tubing* dengan penambahan 0,013 inch.

Tabel 2. Ukuran *tubing perforate* sesudah dan sebelum disirkulasikan

| Ukuran <i>tubing Perforate</i> sebelum dan sesudah sirkulasi |        |       |                      |  |
|--------------------------------------------------------------|--------|-------|----------------------|--|
| No                                                           | Before | After | Pertambahan Diameter |  |
| 1                                                            | 2,901  | 2,914 | 0,013                |  |

#### Lubang *tubing perforate*

12 variasi lubang pada *tubing perforate* yang mengalami mengalami perubahan dikarenakan adanya pembentukan *scale*.

Tabel 3. Variasi lubang *tubing perforate* sebelum dan sesudah disirkulasikan

| No | ID Lubang | ID sebelum sirkulasi (inch) | ID sesudah sirkulasi (inch) | Selisi ID sebelum dan sesudah (inch) |
|----|-----------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|
| 1. | A         | 0,528                       | 0,505                       | 0,023                                |
| 2. | B         | 0,466                       | 0,445                       | 0,021                                |
| 3. | C         | 0,478                       | 0,440                       | 0,038                                |

| No  | ID Lubang | ID sebelum sirkulasi (inch) | ID sesudah sirkulasi (inch) | Selisi ID sebelum dan sesudah (inch) |
|-----|-----------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|
| 4.  | D         | 0,522                       | 0,501                       | 0,021                                |
| 5.  | E         | 0,475                       | 0,447                       | 0,028                                |
| 6.  | F         | 0,567                       | 0,489                       | 0,078                                |
| 7.  | G         | 0,485                       | 0,469                       | 0,016                                |
| 8.  | H         | 0,566                       | 0,546                       | 0,02                                 |
| 9.  | I         | 0,505                       | 0,502                       | 0,003                                |
| 10. | J         | 0,517                       | 0,511                       | 0,006                                |
| 11. | K         | 0,570                       | 0,500                       | 0,07                                 |
| 12. | L         | 0,504                       | 0,500                       | 0,004                                |

#### *Scale* yang terbentuk

Dari proses simulasi yang dilakukan dengan mensirkulasikan air formasi dengan laju alir, dan suhu yang sudah ditetapkan selama 124 jam maka didapatkan *scale* yang terbentuk pada *tubing perforate* sebanyak 6,14 gram



Gambar 4. Total *scale* pada *tubing perforate*

### Pengaruh *temperature*, pH, dan laju alir pada pembentukan *scale*.

Pada grafik di atas terlihat bahwa nilai *Scale Indeks* untuk *temperature* 51 °C, pH 7,38 dan laju alir 8, 717 l/menit adalah 0,71. Sedangkan untuk *temperature* 54 °C, pH 7,72 dan laju alir 10,482 l/menit nilai *Scale Indeks* sebesar 1,05 dan untuk *temperature* 56,29 °C, pH 7,99 dan laju alir 15,22 l/menit nilai *Scale Indeks* sebesar 1,39. Bisa disimpulkan bahwa dalam proses pertumbuhan *scale*  $\text{CaCO}_3$ , *temperature*, pH, dan laju alir mempunyai pengaruh terhadap waktu terbentuknya inti kristal pertama kali.

Bentuk pengaruhnya adalah semakin dalam sumur akan meningkatkan *temperature* pada air formasi yang akan menyebabkan terjadinya penguapan dengan lebih cepat sehingga terjadi pengendapan *scale*  $\text{CaCO}_3$ . pH yang bersifat semakin basa dapat mempercepat proses pengendapan *scale*  $\text{CaCO}_3$ . Demikian pula dengan laju alir yang semakin tinggi akan mengakibatkan waktu pembentukan inti kristal yang semakin cepat, karena *scale*  $\text{CaCO}_3$  terbentuk oleh adanya reaksi dan pengendapan antara ion-ion, maka bila semakin banyak ion yang bereaksi dan mengendap akan menjadikan konduktivitas larutan menjadi lebih kecil. Sehingga massa *scale*  $\text{CaCO}_3$  yang terbentuk akan lebih banyak. Perbedaan nilai konduktivitas menunjukkan bahwa ada kecenderungan perbedaan laju reaksi yang terjadi untuk laju alir 8,717; 10,482 dan 15,22 l/menit. Berdasarkan data di atas bisa diketahui bahwa bila laju alir rendah maka laju reaksi juga rendah, sebaliknya bila laju alir tinggi maka laju reaksi akan tinggi pula.

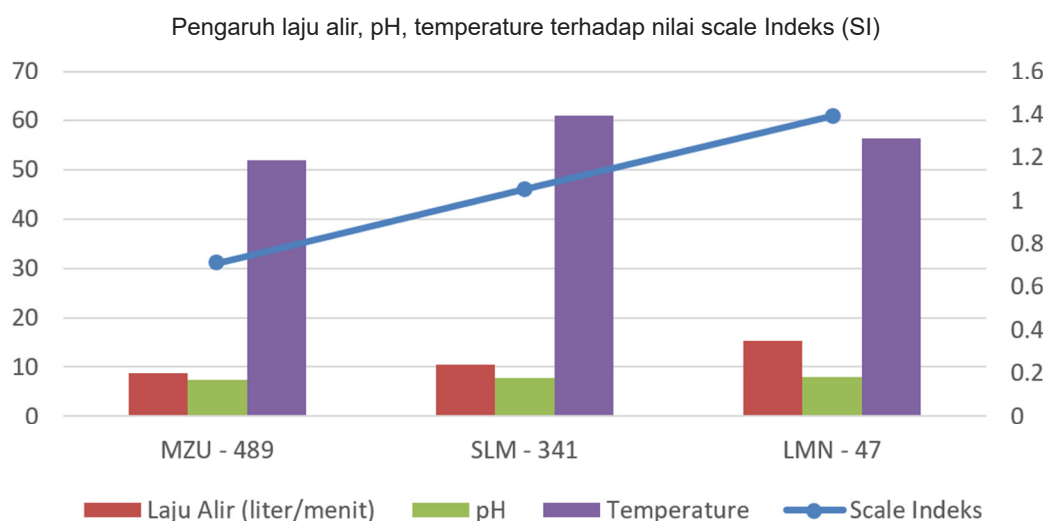
### KESIMPULAN DAN SARAN

#### Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan dari penelitian ini, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut: 1). Penelitian ini menunjukkan bahwa melalui Alat *Scale Simulator* dapat diperoleh pembentukan *Scale* karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) pada *tubing perforate* yang dialiri air formasi dengan laju alir 15,2279 liter/menit, pH 7,99 dan dengan suhu 56,29 °C adalah sebanyak 6,14 g; 2). pH dan *temperature* sangat mempengaruhi proses pembentukan *scale*, yang dilihat dari nilai *Scale Indeks* sumur MZU – 489 dengan *temperature* 51 °C, dan pH 7,38 adalah 0,71. Sedangkan untuk sumur SLM–34 *temperature* 54 °C dan pH 7,72 nilai *Scale Indeks* sebesar 1,05 dan untuk sumur LMN-47 *temperature* 56,29 °C dan pH 7,99 nilai *Scale Indeks* sebesar 1,39; 4). Peningkatan laju aliran akan memperpendek periode induksi karena meningkatkan frekuensi pertumbuhan molekul dalam larutan sehingga dapat mempercepat pertumbuhan *scale*  $\text{CaCO}_3$ . Berdasarkan sumur MZU-489 dengan laju alir 8, 717 l/menit memperoleh nilai *Scale Indeks* 0,71. Sedangkan untuk laju alir 10,482 l/menit nilai *Scale Indeks* sebesar 1,05 dan untuk laju alir 15,22 l/menit nilai *Scale Indeks* sebesar 1,39.

#### Saran

1). Usahakan agar volume air formasi pada bak penampungan selau dalam kondisi penuh, karena selama proses pemanasan oleh *stick heater* berpotensi terjadinya pemuain yang dapat mengurangi volume air formasi; 2). Penelitian selanjutnya diharapkan dapat menggunakan Alat *Scale Simulator* untuk menentukan pengaruh laju alir terhadap pembentukan *scale*  $\text{CaCO}_3$  dengan melakukan variasi



Gambar 5. Grafik hubungan antara laju alir, pH, temperature terhadap nilai scale indeks

laju alir sebagai pembanding; 3). Diharapan untuk penelitian selanjutnya melakukan pengujian berapa lama reaksi *scale* terhadap *scale stick* dan berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk *scale* dapat terbentuk kembali.

#### DAFTAR ISTILAH/SINGKATAN

| Notasi                         | Keterangan                                                      | Satuan |
|--------------------------------|-----------------------------------------------------------------|--------|
| CaCO <sub>3</sub>              | Kalsium Karbonat                                                | -      |
| CaSO <sub>4</sub>              | Kalsium Sulfat                                                  | -      |
| BaSO <sub>4</sub>              | Barium Sulfat                                                   | -      |
| CO <sub>2</sub>                | Karbon Dioksida                                                 | -      |
| SrSO <sub>4</sub>              | Strontium Sulfate                                               | -      |
| FeCO <sub>3</sub>              | Ferrous Carbonate                                               | -      |
| FeS                            | Ferrous Sulfide                                                 | -      |
| Fe (OH) <sub>2</sub>           | Ferrous Hydroxide                                               | -      |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Ferric Oxide                                                    | -      |
| SI                             | Scale Indeks                                                    | -      |
| K                              | Konstanta. Fungsi dari komposisi, salinitas, dan temperatur air | -      |
| pCa                            | Negatif logaritma dari konsentrasi Ca <sup>2+</sup>             | -      |
| pAlk                           | Negatif logaritma dari konsntrasi total alkalinitas             | -      |

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Puji dan syukur saya sampaikan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas berkat, rahmat, dan anugerah-Nya, yang memungkinkan peneliti menyelesaikan jurnal ilmiah berjudul: “analisis pengaruh air formasi temperatur, ph dan laju alir terhadap pembentukan scale”.

Penyusunan jurnal ilmiah ini merupakan langkah yang diambil untuk memenuhi persyaratan guna memperoleh derajat Sarjana Teknik Perminyakan dari Sekolah Tinggi Teknologi Migas Balikpapan Terima kasih banyak atas doa dukungan seluruh rekan rekan yang terlibat baik orng tua, dosen, mentor perusahaan, dan teman teman saya semuanya.

#### DAFTAR PUSTAKA

Bradley (1987) *Petroleum Engineering Handbook, Society of Petroleum Engineers, US*.  
 R. Liestyana, L. Said & R. Pratiwi (2018) Analisa Air Formasi Terhadap Kecenderungan Pembentukan Scale Calsium Carbonate (CaCO<sub>3</sub>) dan Calsium

Sulfate (CaSO<sub>4</sub>).

- R. Isopescu, C. Mateescu, M. Mihai & G. Dabija (2010) *The effects of organic additives on induction time and characterustics calcium carbonate, Chamical Engeneering Research and design*, 388, no. 5.
- S. Muryanto, A. Bayuseno, H. Ma'mun, M. Usamah & Jotho (2013) *Calcium carbonate scale formation in pipes: effect of flow rates, temperature, and malic acid as addictive on the mass and morphology of the scale*.
- Rasako, S. N. S., Indriani, E., & Pattikayhatu, E. B. (2024). Evaluasi Penggantian Artificial Lift Sucker Rod Pump (SRP) Menjadi Electrical Submersible Pump (ESP) Untuk Meningkatkan Produksi Minyak Sumur S Lapangan Kawengan. LEMBARAN PUBLIKASI MINYAK DAN GAS BUMI (LPMGB), 58(1), 51-62. <https://doi.org/10.29017/LPMGB.58.1.1615>.
- DOC Engineering (2024) *Effect Of Temperature and Solution pH on Calcium Carbonate Precipitation As Bio-Based Repair Material In Concrete*.
- H. Ma'mun, A. Bayuseno & S. Muryanto (2013) Pembentukan Kerak Kalsium Karbonat (CaCO<sub>3</sub>) didalam Pipa Beraliran Laminer Pada Laju Alir 30 ml/menit Hingga 50ml/menit dan Penambahan Adiktif Asam Malat.
- A. Koerchef & M. Touaibi (2019) *Effect of pH and temperature on calcium carbonate precipitation by CO<sub>2</sub> removal from ion-ion rich water*.
- D.I. Astuti, S.R. Gusmawarni & M.S.P. Budi (2024) Studi Perkiraan Potensi Pembentukan Indeks Scale Calcium Carbonate Dari Sampel Brine Sintetik (Variabel CO<sub>3</sub> dalam Air Formasi).
- A. Gusfarozi (2021) Analisis Penyebab Terbentuknya Scale pada Pipa Produksi di Lapangan X dengan Metode Stiff & Davis dan Metode Skillman, McDonald, Davis. Perpustakaan Universitas Islam Riau. Universitas Islam Riau.
- E.C. Saputra (2015) Analisa Variasi Temperature Pembentukan Kristal CaCO<sub>3</sub> Pada Consentrasi Larutan 3500 ppm Ca<sup>++</sup> Dengan Laju Alir 50 ml/menit.

Yusrizal, M. Z., & Kaesti, E. Y. (2025). Modern Palacio-Blasingame Type Curve Method to Determine Well Production Characteristics and Reserves in Indonesia Field. *Scientific Contributions Oil and Gas*, 48(3), 120-130.