

ANALISA AIR FORMASI TERBENTUKNYA SCALE KALSIUM SULFAT MENGGUNAKAN METODE SKILLMAN PADA SUMUR “R-ELEVEN” DAN CARA PENANGGULANGANNYA

Azwar Asi, Muhammad Nur Mukmin, Firdaus, Sulardi, Adelia Rohani, Virgine Von Safigny,
Iin Darmiyati

Sekolah Tinggi Teknologi Minyak dan Gas Bumi Balikpapan, Indonesia

E-mail: azwarblackforest@gmail.com

Copyright © 2022 The Author



This is an open access article

Under the Creative Commons Attribution Share Alike 4.0 International License

DOI: 10.53866/jimi.v2i4.121

Abstract

Scale is a precipitate formed from formation water, Scale is rich in dissolved ions, both in the form of cations and anions. Scale usually forms when mineral deposits occur which can form scale or solid deposits. Scale itself can reduce the ability of rock formations to pass fluids, narrowing the inner diameter of the pipe and tubing resulting in a low flow rate in the well. The scales that are usually formed in oil fields are the CaCO_3 and CaSO_4 scale types. Scale itself can reduce production due to a decrease in flow rate. To find out whether there is scale formed in the formation water, a test is carried out on the formation water in the laboratory. To predict the tendency of the formation of CaSO_4 scale in this field by calculating using the skillman, McDonald and stiff methods. In this well, indications of the possibility of the formation of a CaSO_4 scale were found which had previously been found. The formation of a CaCO_3 scale in this well occurred in flowlines, perforations or on surface equipment, causing a decrease in production from previously 600 BLPD to 264 BLPD, therefore this is to see if there is The type of calcium sulfate scale formed was calculated using the Skillman, McDonald and Stiff methods at temperatures of 25°C , 30°C and 40°C . After doing the calculations, it was found that the "R_ELEVEN" well formed CaSO_4 scale at a temperature of 40°C , because the results obtained from the calculations were that the solubility value of gypsum (S) was greater when compared to the actual solubility value of CaSO_4 (S'), which means water is saturated with CaSO_4 then the scale in question is formed and precipitated.

Keywords: Scale CaSO_4 , Water Formation, Skillman, Mc Donald and Stiff.

Abstrak

Scale adalah endapan yang terbentuk dari air formasi, Scale kaya akan ion terlarut, baik dalam bentuk kation maupun anion. Scale biasanya terbentuk jika terjadi pengendapan mineral yang bisa membentuk scale atau endapan padat. Scale sendiri dapat mengecilkan kemampuan batuan formasi untuk meloloskan fluida, mempersempit diameter bagian dalam pipa seta tubing yang mengakibatkan rendahnya laju alir di sumur tersebut. Scale yang biasanya banyak terbentuk pada lapangan minyak adalah jenis scale CaCO_3 dan CaSO_4 . Scale sendiri dapat menurunkan produksi dikarenakan adanya penurunan laju alir. Untuk mengetahui ada tidaknya scale yang terbentuk pada air formasi, dilakukan pengujian terhadap air formasi di laboratorium. Untuk memprediksi kecenderungan terbentuknya scale CaSO_4 pada lapangan ini dengan cara menghitung menggunakan metode skillman, mcdonald dan stiff. Pada sumur ini ditemukan indikasi kemungkinan terbentuknya scale CaSO_4 yang mana telah ditemukan terlebih dahulu terbentuknya scale CaCO_3 pada sumur ini yang terjadi pada flowline, perforasi ataupun pada peralatan permukaan sehingga menyebabkan penurunan produksi yang sebelumnya 600 BLPD menjadi 264 BLPD, oleh karena ini untuk melihat apakah

ada jenis scale kalsium sulfat yang terbentuk dilakukan perhitungan menggunakan metode Skillman, McDonald dan Stiff pada temperatur 25°C, 30°C dan 40°C. Setelah dilakukan perhitungan didapatkan hasil bahwa sumur “R_ELEVEN” terbentuk scale CaSO_4 pada kondisi temperatur 40°C, dikarenakan hasil yang didapatkan dari perhitungan bahwa nilai kelarutan gypsum (S) lebih besar jika dibandingkan dengan nilai kelarutan CaSO_4 yang sebenarnya (S') yang artinya air dijenuhi oleh CaSO_4 maka scale yang dimaksud terbentuk dan terendapkan. Cekungan Kutai merupakan salah satu cekungan yang sangat penting di Indonesia.

Kata Kunci: Scale CaSO_4 , Air Formasi, Skillman, McDonald dan Stiff.

1. Pendahuluan

Teknik produksi adalah teknik untuk mengangkat fluida reservoir secara optimal dan sesuai target yang ingin dicapai dari dalam permukaan bumi menuju permukaan (Fadlih & Megawati, 2020). Kegiatan produksi yang terus-menerus dilakukan dapat menyebabkan terjadinya penurunan laju alir yang dimana kemampuan sumur tidak dapat melakukan produksi secara optimum, penurunan tersebut diakibatkan oleh kerusakan formasi, masalah kepasiran dan scale (Gusfarozzi, 2021). Air formasi adalah cairan yang bisa melarutkan ion-ion positif dan negatif dari reservoir menuju kepermukaan, air formasi sendiri identic dengan ion yang terkandung didalamnya dimana apabila ion-ion tersebut bereaksi dan saling mengikat akan menimbulkan masalah yaitu terbentuknya endapan atau yang disebut dengan scale (Kanasih, Amin, Prabuwati, 2018). Dimana endapan ini akan membuat laju alir produksi menjadi terganggu. Scale adalah endapan yang terbentuk dari proses kristalisasi pengendapan mineral ion-ion yang ada didalam air formasi (Diba, 2022). Air formasi merupakan fluida yang dapat melarutkan ion-ion yang terdapat dalam reservoir. Scale dapat terjadi pada surface dan subs surface yang dimana pada subs surface biasanya scale terjadi di tubing, lubang perforasi dan dibatuan formasi sedangkan pada surface biasanya scale terjadi di pipa penyaluran produksi minyak (Kaunang, 2022). Faktor utama terbentuknya scale yaitu tercampurnya dua kandungan air formasi yang berbeda ion, scale sendiri mengandung ion positif (kation) dan ion negatif (anion) pada sumur “R-ELEVEN” awalnya telah terbentuk scale jenis CaCO_3 yang sebelumnya telah dihitung sebelumnya menggunakan metode Stiff dan Davis dimana pada sumur dan lapangan minyak khususnya di Indonesia apabila terdapat ion jenis CaCO_3 terbentuk maka ada indikasi akan terbentuk scale jenis CaSO_4 (Mukminin., 2019). Pada sumur “R-ELEVEN” ditinjau dari masalah yang telah diuraikan diatas maka peneliti melakukan analisa menggunakan metode Skillman, McDonald dan Stiff untuk memperkirakan kecenderungan terbentuknya scale CaSO_4 pada

2. Metode Penelitian

2.1. Objek, waktu dan Tempat

Lapangan Limau terletak ± 110 Km ke arah Selatan kota Palembang Provinsi Sumatera Selatan dengan luas area lapangan 250 km², Wilayah Operasi lapangan Limau meliputi 3 kecamatan yaitu: Rambang Dangku, Rambang Lubai, dan Gunung Megang yang terletak di Kabupaten Muara Enim, yang terdiri dari : Lapangan Limau Timur, Lapangan Karang, Lapangan Limau Barat, Lapangan Belimbing, Lapangan Limau Tengah, Lapangan Limau Niru.

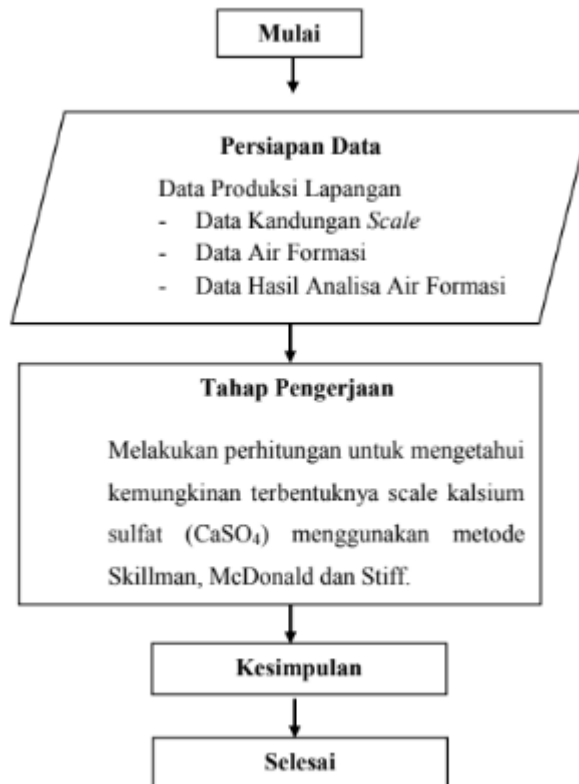
Area operasi PT. Pertamina EP Asset 2 Limau Field terletak di Kabupaten Muaraenim dan Kota Prabumulih. Berdasarkan data geologi Limau Field, Lapangan Limau terletak ± 110 km ke arah selatan Kota Palembang, Provinsi Sumatera Selatan dengan luas area lapangan sekitar 211 km² (Gambar 2.1). PT. Pertamina EP Asset 2 Limau Field mempunyai sumur produksi sebanyak 72 sumur, diantaranya terdapat 5 sumur natural flow.

Sumatera Selatan terletak pada cekungan purba yang membentang dari selatan tenggara sampai utara barat. Batas-batas sebelah selatan oleh tinggian lampung, sebelah barat oleh Bukit Barisan, sebelah utara oleh pegunungan tiga puluh dan sebelah timur oleh Daratan Sunda. Struktur geologi yang mempengaruhi terbentuknya perangkap hidrokarbon sebagian besar merupakan antiklinal, patahan yang berorientasi barat laut tenggara sebagai akibat gaya kompresi.

Pada cekungan Sumatera Selatan, minyak dan gas terperangkap pada lapisan batu pasir atau batu gamping. Berdasarkan data-data eksplorasi Limau Field, hanya terdapat dua formasi yang mengandung hidrokarbon yang bersifat ekonomis, yaitu Formasi Talang Akar (TAF) dan Formasi Batu raja (BRF), yang

dimana terdapat batuan reservoir pada formasi TAF terdiri dari batu pasir gampingan, batu lempung, batu bara dan batu pasir kasar, sedangkan pada formasi BRF terdiri dari batu gamping.

2.2. Teknik Pengumpulan Data



3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Penelitian

Pada penelitian yang dilakukan sebelumnya oleh Realita chirstia kinasih, Muhammad Amin, dan Ubaidillah anwar prabu (2018) terjadi masalah saat proses produksi pada sumur “R-ELEVEN”. Masalah yang terjadi adalah penurunan laju alir produksi pada saat produksi minyak dan gas berlangsung yang awalnya mendapatkan total produksi selama sehari 600 BLPD yang kini menjadi 264 BLPD.

Penyebab utamanya adalah adanya endapan scale yang menghambat aliran fluida selama proses produksi yang diakibatkan oleh adanya ion-ion pembentuk scale pada air formasi dikarenakan terbukanya 2 reservoir dengan kandungan air formasi yang berbeda yang terlarut sehingga membuat ion-ion pada air formasi saling mengikat dan membentuk inti scale yang relatif kecil dan masih dapat terlarut sampai kemudian terbentuk endapan scale yang relatif besar dan kemudian mengendap, terbentuknya endapan scale selain karena adanya ion-ion yang menjadi bibit pembentuk scale pada sumur “R-ELEVEN” ini juga karena adanya penurunan tekanan yang terjadi dari reservoir ke lubang sumur, pompa esp dan tubing.

Endapan scale yang terbentuk pada sumur “R-ELEVEN” yaitu scale jenis CaCO_3 yang terbentuk di pompa tubing yang membuat laju alir dan jumlah produksi pada sumur ini menjadi berkurang dikarenakan kinerja pompa menjadi terhambat, pada sumur R-eleven terbentuknya scale CaCO_3 karena nilai SI yang didapatkan dari hasil perhitungan pada penelitian sebelumnya adalah sebesar 1,05, diketahuinya scale jenis CaCO_3 yang terbentuk dan terendapkan karena pada data kandungan air formasi terdapat ion kalsium dan ion karbonat yang kemudian bereaksi dan kemudian mengendap, dilihat dari nilai scalling index (SI) yang didapatkan dari hasil perhitungan menggunakan metode stiff dan davis ataupun dari perusahaan yang dimana apabila nilai $\text{SI} > 0$ maka CaCO_3 cenderung mengendap, apabila $\text{SI} = 0$ maka larutan jenuh dengan CaCO_3

dan apabila $SI < 0$ maka endapan $CaCO_3$ tidak dapat terbentuk. Kemudian pada penelitian sebelumnya untuk menghilangkan endapan scale $CaCO_3$ yang terbentuk dilakukan acidizing yang dibagian tubing pump, selain itu pada sumur R-eleven juga terindikasi terbentuknya scale $CaSO_4$ yang dapat dilihat pada data kandungan air formasi pada sumur "R-ELEVEN" yang dimana ada terdapat ion kalsium dan sulfat yang terbentuk apabila kedua ion ini larut secara bersamaan bisa bereaksi dan menciptakan scale $CaSO_4$ yang cenderung susah dihilangkan dengan acidizing. Pada tugas akhir ini peneliti mencari apakah pada sumur "R-ELEVEN" ada terbentuk scale jenis $CaSO_4$ pada kondisi temperatur $25^\circ C$, $30^\circ C$ dan $40^\circ C$

dikarenakan pada penelitian sebelumnya sudah terbentuk scale jenis $CaCO_3$ yang dihitung menggunakan metode stiff dan davis, terlihat dari kandungan air formasi pada penelitian sebelumnya peneliti melihat adanya perkiraan terbentuknya scale $CaSO_4$, tetapi untuk lebih memastikan apakah scale jenis $CaSO_4$ terbentuk dan mengendap peneliti menghitung kecenderungan terbentuknya scale $CaSO_4$ menggunakan metode perkiraan $CaSO_4$ yang dikembangkan Skillman, McDonald dan Stiff dimana metode ini ditentukan dengan perbandingan antara nilai kelarutan $CaSO_4$ (S) dengan nilai kelarutan dari $CaSO_4$ yang sebenarnya (S'). Scale $CaCO_3$ memiliki karakteristik yang berbeda dengan scale $CaSO_4$ dimana scale $CaCO_3$ lebih mudah dihilangkan dengan pengasaman (acidizing) karena scale tersebut lebih lunak dan mengandung CO_2 dibandingkan dengan scale $CaSO_4$ yang hampir tidak terlarut didalam asam karena scale jenis ini sangat keras dan sulit dihilangkan dengan cara pengasaman, untuk menghilangkan scale jenis ini biasanya menggunakan cairan konverter seperti natrium sitrat yang membuat scale menjadi lunak atau bisa menggunakan cairan konverter HCL yang berfungsi untuk memisahkan ion Ca^{2+} dan ion SO_4^{2-}

3.2. Hasil Perhitungan

Pengujian air formasi yang dilakukan dengan menggunakan sample air formasi pada sumur "R-ELEVEN" ini digunakan untuk menunjang perhitungan guna menentukan terbentuknya scale $CaSO_4$ pada sumur ini, dimana pada sumur ini sebelumnya telah diketahui terbentuknya scale $CaCO_3$ yang mengakibatkan menurunnya laju produksi sebesar 600 barrel liquid per day menjadi 264 barrel liquid per day, Sebelum bisa diketahui apakah sumur ini terbentuk scale $CaSO_4$ atau tidak terlebih dahulu di harus diketahui kadar zat terlarut dalam larutannya pada masing- masing ion kalsium (Ca^{2+}) dan ion sulfat (SO_4^{2-})

Setelah didapatkan berapa konsentrasi dari tiap ion (Ca^{2+}) dan ion (SO_4^{2-}) tersebut kemudian dilanjutkan dengan menentukan ion strength pada masing masing kation dan anion dengan menggunakan persamaan yaitu konsentarsi (PPM) tiap ion x factor konversi, setelah mendapatkan ion strength pada masing-masing ion kemudian dijumlahkan untuk mendapatkan total ion strength, total ion strength yang didapatkan yaitu 0,5161 ($5,161 \times 10^{-1}$) Selanjutnya dilakukan perhitungan Ksp menggunakan persamaan yang telah ditulis sebelumnya yaitu pada persamaan 3.6. $Ksp = (Ca^{2+}) \times (SO_4^{2-})$ mendapatkan hasil Ksp pada temperatur $40^\circ C$ sebesar 373,9 ($3,739 \times 10^2$) atau bisa menggunakan konstanta Ksp yang bisa dilihat pada tabel 3.1 pada kondisi $25^\circ C$ yaitu ($7,1 \times 10^{-5}$) yang dimana mendapatkan hasil Ksp ($33,2 \text{ meq/l}$) atau menggunakan konstanta Ksp pada kondisi suhu yang bisa dilihat pada gambar 3.4 $30^\circ C$ yaitu ($6,21 \times 10^{-4}$) yang dimana juga mendapatkan hasil ($99,6 \text{ meq/l}$), digunakannya perbandingan suhu dalam menghitung kecenderungan terbentuknya scale $CaSO_4$ karena untuk mengetahui apakah pada kondisi suhu yang telah diasumsikan sebelumnya scale yang dimaksud dapat terbentuk atau tidak.

Setelah diketahui Kspnya kemudian peneliti menghitung selisih konsentrasi antara ion Ca^{2+} dan SO_4^{2-} menggunakan persamaan 3.5. $X = (\text{kadar zat terlarut } Ca^{2+}) - (\text{kadar zat terlarut } SO_4^{2-})$ yang dimana mendapatkan hasil selisih konsentrasi antara ion Ca^{2+} dan ion SO_4^{2-} yaitu 4×10^{-4} . Setelah Ksp dan selisih ion Ca^{2+} dan SO_4^{2-} bisa diketahui, kemudian dapat dihitung harga kelarutan gypsum atau $CaSO_4$ (S) pada sumur "R-ELEVEN" menggunakan persamaan 3.2. $S = 1000 [(X^2 + 4Ksp)^{0,5} - X]$, awalnya dihitung total kelarutan gypsum/ $CaSO_4$ pada sumur "R-ELEVEN" menggunakan pada persamaan 3.2. pada temperatur $40^\circ C$ dengan nilai Ksp yang didapatkan setelah perhitungan adalah 373,9 ($3,739 \times 10^2$) yang dimana mendapatkan hasil kelarutan gypsum/ $CaSO_4$ (S) sebesar 773,20 Meq/L.

Setelah itu kemudian dilanjutkan dengan menghitung kembali kelarutan gypsum/ $CaSO_4$ (S) pada sumur "R-ELEVEN" menggunakan nilai ksp pada kondisi temperatur $30^\circ C$ yang didapatkan pada konstanta ketetapan yang bisa dilihat pada gambar 3.4. yaitu ($6,21 \times 10^{-4}$) yang dimana mendapatkan hasil kelarutan gypsum/ $CaSO_4$ (S) pada kondisi temperatur $30^\circ C$ sebesar 99,6 Meq/L.

Kemudian dihitung lagi kelarutan gypsum/ CaSO_4 (S) pada sumur “R-ELEVEN” menggunakan nilai ksp pada kondisi temperature 25°C yang didapatkan pada konstanta ketetapan yang bisa dilihat pada tabel 3.1. yaitu $(7,1 \times 10^{-5})$ yang dimana mendapatkan hasil kelarutan gypsum/ CaSO_4 (S) sebesar 33,2 Meq/L.

Setelah nilai kelarutan gypsum didapatkan dari perhitungan pada tiap kondisi temperature maka dilanjutkan dengan menghitung nilai total kelarutan ion (Ca^{2+}) dan ion (SO_4^{2-}) yang actual atau sebenarnya dengan mengkonversikan ppm ke Meq/L pada tiap konsentrasi ion (Ca^{2+}) sebesar 94,18 dan ion (SO_4^{2-}) sebesar 200,334 yang dimana mendapatkan hasil nilai kelarutan total ion ion (Ca^{2+}) + ion (SO_4^{2-}) sebesar 294,514 Meq/L. Setelah dilakukan perhitungan kelarutan gypsum kemudian dibuatkan tabel untuk mempermudah melihat hasil dengan membandingkan nilai kelarutan gypsum (S) yang didapatkam terhadap nilai konsentrasi ion Ca^{2+} dan SO_4^{2-} (S’).

Penelitian ini sendiri menggunakan kondisi temperature 25°C , 30°C , 40°C dengan nilai Ksp yang berbeda, hasil perhitungan yang telah dilakukan dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 3.2. Perhitungan Nilai Ksp

Sample	Kondisi	Nilai Ca^{+2} (Meq/L)	Nilai SO_4^{-2} (Meq/L)	Nilai S’ (Meq/L)	Nilai S (Meq/L)
Sumur “R-ELEVEN”	25°C	94,18	200,334	294,514	33,2
	30°C	94,18	200,334	294,514	99,6
	40°C	94,18	200,334	294,514	773,20

Merujuk pada perkiraan kemungkinan terbentuknya scale CaSO_4 yang tulis oleh Skillman, McDonald dan stiff yang dimana Jika (S) lebih kecil dari total konsentrasi actual Ca^{2+} dan SO_4^{2-} (S’), maka kemungkinan scale CaSO_4 tidak terbentuk karena air tidak di jenuhi oleh CaSO_4 ($S < S'$ scale tidak akan terbentuk). Sebaliknya Jika (S) lebih besar dari total konsentrasi actual Ca^{2+} dan SO_4^{2-} (S’), maka kemungkinan scale CaSO_4 akan terbentuk karena air di jenuhi oleh CaSO_4 ($S > S'$ scale tidak akan terbentuk).

Dari hasil yang didapatkan diatas pada tabel 5.1. pada kondisi temperature 40°C mendapatkan nilai kelarutan gypsum/ CaSO_4 (S) sebesar 773,20 (Meq/L) kemudian dibandingkan dengan konsentrasi actual Ca^{2+} dan SO_4^{2-} (S’) yaitu sebesar 294,514 (Meq/L), kemudian pada kondisi temperature 30°C mendapatkan nilai kelarutan gypsum/ CaSO_4 (S) sebesar 99,6 (Meq/L) kemudian dibandingkan dengan konsentrasi actual Ca^{2+} dan SO_4^{2-} (S’) yaitu sebesar 294,514 (Meq/L), kemudian pada kondisi temperature 25°C mendapatkan nilai kelarutan gypsum/ CaSO_4 (S) sebesar 33,2 (Meq/L) kemudian dibandingkan dengan konsentrasi actual Ca^{2+} dan SO_4^{2-} (S’) yaitu sebesar 294,514 (Meq/L). Pada sampel air formasi sumur “R- ELEVEN” yang peneliti analisa mendapatkan hasil yang nilai kelarutan gypsum/ CaSO_4 (S) pada kondisi temperatur 25°C nilainya lebih kecil di bandingkan dengan nilai nilai konsentrasi ion Ca^{2+} dan SO_4^{2-} (S’) hal tersebut menunjukkan bahwa air tidak jenuh dengan scale CaSO_4 berarti scale kalsium sulfat tidak terbentuk pada temperatur tersebut.

Nilai kelarutan gypsum/ CaSO_4 (S) pada kondisi temperatur 30°C nilainya lebih kecil di bandingkan dengan nilai konsentrasi ion Ca^{2+} dan SO_4^{2-} (S’) hal tersebut menunjukkan bahwa air tidak jenuh dengan scale CaSO_4 berarti scale kalsium sulfat tidak terbentuk pada temperatur tersebut. Nilai kelarutan gypsum/ CaSO_4 (S) pada kondisi temperatur 40°C nilainya lebih besar di bandingkan dengan nilai konsentrasi ion Ca^{2+} dan SO_4^{2-} (S’) hal tersebut menunjukkan bahwa air jenuh dengan scale CaSO_4 berarti scale kalsium sulfat terbentuk pada temperatur tersebut. Setelah dilakukan analisa didapatkan hasil pada temperatur 40°C scale jenis kalsium sulfat, karena diketahui ada terbentuknya scale kalsium sulfat pada sumur “R-ELEVEN” maka dapat dilakukan penanggulangan scale tersebut dengan menurunkan temperatur pada air formasi dengan cara menginjeksikan air kedalam sumur agar suhu air menjadi rendah serta dengan menginjeksikan air kedalam sumur juga akan membuat kelarutan garam (gypsum) menjadi lebih besar sehingga pengendapan scale kalsium sulfat dapat diatasi.

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan dapat diketahui bahwa pada sumur “R-ELEVEN” terbentuk scale kalsium sulfat (CaSO_4) yang mana terbentuk. Berdasarkan hasil yang didapatkan dari perhitungan yang telah dilakukan pada sumur “R-ELEVEN” menggunakan metode Skillman, McDonald dan Stiff mendapatkan nilai kelarutan gypsum (S) pada temperature 40°C yaitu sebesar 773,20 Meq/L, pada temperature 30°C yaitu sebesar 99,6 Meq/L pada temperature 25°C yaitu sebesar 33,2 Meq/L dan sedangkan nilai kelarutan CaSO_4 actual (S') yang juga telah diperoleh pada tiap temperatur adalah pada tiap temperature, yang berarti nilai kelarutan gypsum (S) lebih besar jika dibandingkan dengan nilai kelarutan CaSO_4 294,514, yang sebenarnya (S'), artinya scale CaSO_4 terbentuk pada temperatur 40°C yang dimana mendapatkan hasil kelarutan gypsum (S) lebih besar jika dibandingkan nilai kelarutan CaSO_4 actual (S') adalah 294,514 sumur “R-ELEVEN” dikarenakan air tidak di jenuhi oleh scale CaSO_4 .

Bibliografi

- Adam, G. (2021). *Analisis penyebab terbentuknya scale pada pipa produksi di Lapangan X dengan metode Stiff & Davis dan metode Skillman, McDonald, Davis* [Laporan Tugas Akhir].
- Aghisna, Z. P. (2016). *Analisa identifikasi kemungkinan terbentuknya scale di Lapang “X” PT Pertamina EP Asset 3 Field Jatibarang* [Laporan Tugas Akhir].
- Alighiri, D., Fatmala, C., Syafi'i, I., & Haditya, B. E. (2018). Studi pembentukan scale CaCO_3 dan CaSO_4 pada air formasi sumur minyak di Cepu, Indonesia.
- Diba, A. F., Mukmin, M. N., & Afifah, R. S. (2023). Analisa lumpur pemboran terhadap swelling clay pada sumur “X” Lapangan “Affikah”. *PETROGAS: Journal of Energy and Technology*, 1(1), 46–56. <https://doi.org/10.58267/petrogas.v1i1.151>
- Fadlih, A., & Megawati, E. (2020). Analisa pengaruh konsentrasi aMDEA terhadap penyerapan gas karbon dioksida (CO_2). *PETROGAS: Journal of Energy and Technology*, 2(2), 11–17. <https://doi.org/10.58267/petrogas.v2i2.39>
- Kaunang, I., Geologi, P. S., Tinggi, S., & Migas, T. (2025). Terhadap sistem hidrotermal daerah Samboja. *PETROGAS: Journal of Energy and Technology*, 7(1), 9–19.
- Kinasih, C. R., Amin, M., & Prabu, A. U. (2018). Analisa hasil acidizing treatment untuk menanggulangi scale CaCO_3 dalam upaya mengoptimalkan kemampuan berproduksi sumur R-11 PT Pertamina EP Asset 2 Limau Field.
- Liestyana, R., Said, L., & Pratiwi, R. (2018). Analisa air formasi terhadap kecenderungan pembentukan scale calcium carbonate (CaCO_3) dan kalsium sulfate (CaSO_4).
- Mukminin, A., Fajar, M., Sarungu', S., & Andrianti, I. (2019). Pengaruh suhu kalsinasi dalam pembentukan katalis padat CaO dari cangkang keong mas (*Pomacea canaliculata* L). *PETROGAS: Journal of Energy and Technology*, 1(1), 13–21. <https://doi.org/10.58267/petrogas.v1i1.8>
- Nasirudin, A. M., & Said, L. (2015). Analisa air formasi dalam menentukan kecenderungan pembentukan scale pada sumur X, Y, dan Z.
- Patton, C. (1995). *Applied water technology*.
- Ramadhan, F. (2017). *Perencanaan sumur L5A dengan metode gas lift di PT Pertamina EP Asset 2 Limau* [Laporan Tugas Akhir].
- Retsya, V. (2019). *Analisa penanggulangan pertumbuhan scale dengan metode injeksi scale inhibitor secara continue di surface facility pada Lapangan Minyak VR* [Laporan Tugas Akhir].