

PENGARUH TEMPERATUR TINGGI SETELAH HOT ROLLER TERHADAP RHEOLOGI LUMPUR SARALINE 200 PADA BERBAGAI KOMPOSISI

Ardhy Agung Abdul Hamid,
Program Studi Teknik Perminyakan – Universitas Trisakti

Abstract

In the drilling process, the actual achievement of the desired final depth is always safely, quickly and without obstacles. Drilling operations are activities that can not be separated from a production well. So the purpose of drilling activities not only to drill safely and efficiently, but also keep a well to be able to produce well. The success of a work of *drilling wells through various layers of rock are very dependent on its drilling program planning*. Drilling mud is an important factor in the drilling. Drilling speed, efficiency, safety and cost of drilling mud is very dependent on this

Keywords: Drilling, Drilling Mud

Pendahuluan

Awalnya sebelum teknologi pemboran berkembang, orang hanya menggunakan air untuk mengangkat serpih pemboran (*cutting*). Seiring dengan perkembangan teknologi pemboran, lumpur mulai digunakan. Untuk memperbaiki sifat-sifat lumpur, zat-zat kimia ditambahkan. Lumpur pemboran merupakan salah satu faktor penunjang keberhasilan dalam operasi pemboran suatu sumur, karena dapat mempengaruhi efisiensi, kecepatan pemboran serta biaya pemboran. Agar lumpur pemboran dapat berfungsi dengan baik, maka lumpur tersebut harus selalu dikontrol sifat-sifat fisiknya, yang antara lain berat lumpur, Viskositas, Plastic Viscosity, Yield Point, Daya Agar (Gel Strength) dan Laju Tapisan, Mud Cake.

Aspek formasi yang dibor seperti : kondisi formasi, bantuan formasi dan kandungan fluida yang terdapat dalam formasi juga perlu dicermati. Kondisi formasi meliputi tekanan dan temperatur formasi akan bertambah. Batuan formasi yang bermacam-macam jenisnya seperti : pasir, gamping, shale juga harus diperhatikan karena memiliki karakteristik yang berlainan yang dapat menimbulkan masalah.

Rumusan Masalah

Masalah yang akan dikaji pada tugas akhir ini yaitu pengaruh kenaikan temperatur terhadap sifat-sifat fisik lumpur Saraline 200 yang sangat mendasar seperti : Berat Jenis Lumpur, Plastic Viscosity, Yield Point, Gel Strength, laju tapisan (water lose), mud cake, electrical stability dan lain sebagainya.

Teori Dasar

Fungsi Lumpur Pemboran

Lumpur pemboran merupakan unsur yang terpenting dalam suatu operasi pemboran, pada saat pemboran tidak menggunakan lumpur akan menimbulkan berbagai masalah yang dapat menghambat aktifitas pemboran.

Kecepatan, efisiensi, keselamatan dan biaya pemboran sangat tergantung pada baik tidaknya lumpur pemboran. Tujuan terpenting penggunaan lumpur pemboran yaitu agar didalam proses pemboran tidak menemui kesulitan-kesulitan yang dapat mengganggu kelancaran kegiatan pemboran itu sendiri

Komponen Atau Fasa Lumpur Pemboran

Komponen atau Fasa dari lumpur pemboran tergantung pada kebutuhan dan kondisi operasi pemboran. Pertimbangan ekonomi, kontaminasi, jenis air yang tersedia, tekanan, dan temperatur merupakan faktor penting dalam menentukan pemilihan jenis lumpur yang akan dipakai. Empat macam komponen atau fasa yang umum digunakan didalam lumpur pemboran adalah sebagai berikut

1. Fasa cair (air atau minyak)
2. *Reactive solids* (padatan yang bereaksi dengan air membentuk koloid)
3. *Inert solids* (zat padat yg tidak bereaksi)
4. Fasa kimia

Dari keempat komponen tersebut dicampurkan sedemikian rupa sehingga didapatkan lumpur pemboran yang sesuai dengan keadaan formasi yang ditembus.

Sifat-Sifat Fisik Lumpur Pemboran

Komposisi dan sifat fisik lumpur sangat berpengaruh pada pemboran, perencanaan *casing*, *drilling rate* dan *completion* dipengaruhi oleh lumpur yang digunakan pada saat itu. Misalnya pada daerah batuan lunak pengontrol sifat-sifat lumpur sangat diperlukan, tetapi di daerah batuan keras sifat-sifat ini tidak terlalu kritis sehingga air biasapun dapat digunakan. Pertimbangan ekonomi, kontaminasi, jenis air yang tersedia, tekanan, temperatur termasuk faktor penting dalam pemilihan lumpur yang akan dipakai. Lumpur pemboran dapat berfungsi baik sesuai dengan yang diharapkan jika sifat-sifat lumpur tersebut dijaga dan selalu diamati secara kontinyu dalam setiap tahap pada operasi pemboran, selama pemboran sifat-sifat tersebut harus diukur secara kontinyu dan akurat agar setiap masalah pemboran yang berhubungan dengan lumpur bor dapat diatasi sehingga kegiatan operasi pemboran tersebut dapat berlangsung sesuai dengan yang telah direncanakan. Untuk itu terdapat empat sifat fisik lumpur pemboran, yaitu density (berat jenis), viscosity, gel strength dan laju tapisan.

Lumpur Bahan Dasar Minyak

Lumpur bahan dasar minyak yang konsentrasinya 100% atau yang disebut dengan True Oil Mud dapat digunakan untuk usaha menaikkan produksi pada beberapa daerah clay. Sehingga minyak mentah banyak dipakai pada operasi-operasi penyelesaian sumur (*well completion*) dan operasi kerja ulang (*workover*).

Prosedur Kerja di Laboratorium

Dalam penelitian ini melihat pengaruh dari peningkatan temperature setelah hot roller terhadap rheologi lumpur saraline 200.

Prosedur Pembuatan Lumpur

Bahan-bahan yang telah disediakan dicampur sesuai urutannya dan menggunakan prosedur pencampuran dengan waktu yang telah ditentukan agar bahan-bahan dapat tercampur sempurna. Berikut adalah tahapan pembuatan lumpur :

1. Mempersiapkan fresh water dengan menggunakan gelas ukur sebanyak 350 ml.
2. Menimbang semua bahan-bahan yang akan digunakan dengan menggunakan timbangan elektrik yang sesuai dengan takaran

3. Setting mixer pada putaran low lalu nyalakan mixer
4. Mixing fresh water dan masukan Saraline selama 5 menit
5. Setelah 5 menit berlalu dilanjutkan Invermul selama 5 menit, Lime selama 5menit, Ez-Mul selama 3 menit, Duratone selama 5 menit, Water selama 7 menit, Gelstone selama 7 menit, CaCl₂ 3 menit dan barite selama 5 menit.
6. Setelah seluruh bahan-bahan di mixing, masukan lumpur kedalam cup. Lumpur telah siap dilakukan pengujian.
7. Lakukan mixing selama 3x
8. Pastikan total volume lumpur \pm 1L

Analisa Hasil Penelitian

Semua fungsi dari lumpur pemboran dapat berlangsung dengan baik, jika dalam setiap operasi pemboran sifat-sifat fisik dan sifat kimia lumpur pemboran dijaga dengan baik dan selalu diamati secara kontinyu. Ketika pelaksanaan pemboran sedang berlangsung dapat terjadi perubahan sifat-sifat dari lumpur maka harus segera dilakukan perbaikan-perbaikan dengan cepat dan tepat dengan cara penambahan zat padat dan zat kimia.

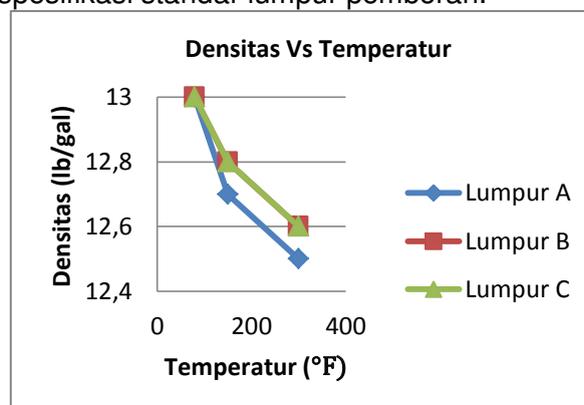
Berikut contoh salah satu analisa pengaruh temperature tinggi setelah hot roller terhadap rheology lumpur saraline 200.

Tabel 1 Hasil Pengukuran Berat Jenis Lumpur (Densitas) Terhadap Temperatur Setelah Hot Roller (16 jam)

Temperatur (°F)	Weight Mud (lb/gal)		
	A	B	C
80 (Ruangan)	13,00	13	12
150 (<i>Hot Roller</i>)	12,70	12.8	11.9
300 (<i>Hot Roller</i>)	12,50	11.7	11.8

Dengan melihat hasil pengamatan dari berat jenis lumpur terhadap peningkatan temperatur tinggi setelah hot roller (16 jam) terlihat terjadi penurunan. Pada temperature ruangan 80°F terlihat pada lumpur A dari 13 lb/gal (pada suhu ruangan) menjadi 12,7 lb/gal pada temperatur 150°F.

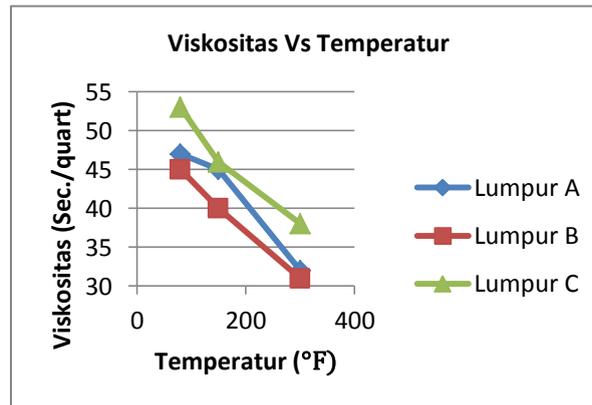
Setelah temperature naik sampai 300°F maka terjadi penurunan densitas pada lumpur A, B, C, dari data hasil pengamatan tersebut dapat disimpulkan semakin tinggi temperatur maka berat jenis lumpur (densitas) akan semakin menurun (encer). Pada pengamatan ini lumpur A, B, C baik digunakan dalam operasi pemboran karena penurunan densitasnya masih didalam *range* spesifikasi standar lumpur pemboran.



Gambar 1 Densitas Vs Temperatur

1. Pengamatan pada Berat Jenis Lumpur (Densitas)

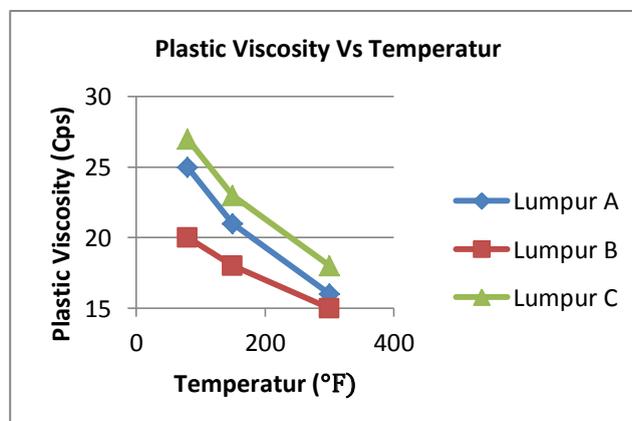
Terlihat terjadi penurunan terlihat pada gambar di atas (Densitas Vs Temperatur) Pada temperature ruangan 80°F terlihat pada lumpur A dari 13 lb/gal (sebelum kenaikan temperatur) menjadi 12,7 lb/gal, begitu juga pada lumpur B dan C (setelah meningkatnya temperatur) penurunan densitas tersebut disebabkan karena adanya peningkatan temperatur. Dari data hasil pengamatan tersebut dapat disimpulkan semakin tinggi temperatur maka berat jenis lumpur (densitas) akan semakin menurun (encer). Pada pengamatan ini lumpur A, B, C, baik digunakan dalam operasi pemboran karena penurunan densitasnya masih didalam *range* spesifikasi standar lumpur pemboran (9.3 – 14 lb/gal).



Gambar 2. Viskositas Vs Temperatur

2. Pengamatan pada Viskositas

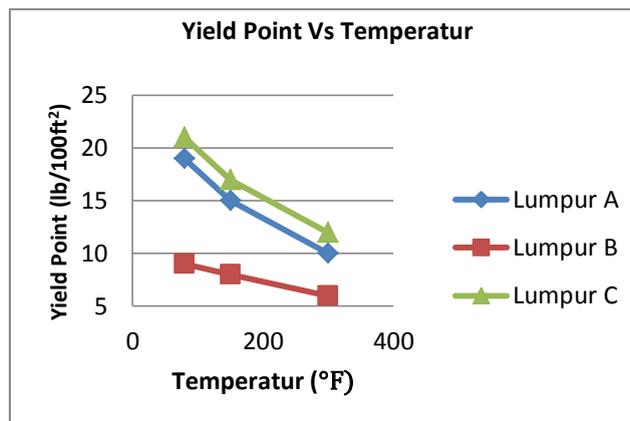
Terlihat pada lampiran Gambar 2 (Viskositas Vs Temperatur), ditemperatur 80°F sampai 300°F pada lumpur sebelum dan sesudah kenaikan temperatur terlihat terjadi penurunan harga viskositas. Pada temperature 80°F harga viskositas lumpur A : 47 sec/quart, lumpur B : 45 sec/quart, lumpur C : 53 sec/quart. Setelah temperatur naik sampai 300°F lumpur mengalami penurunan viskositas menjadi, lumpur A : 32 sec/quart, lumpur B : 31 sec/quart, lumpur C : 38 sec/quart. Lumpur A, B dan C tidak cocok digunakan sebagai lumpur pemboran. Karena pada temperatur tersebut lumpur A, B dan C tidak masuk dalam *range* spesifikasi standar lumpur pemboran. *Range* yang disarankan dalam spesifikasi standar lumpur yaitu (50 sec/quart – 70 sec/quart). Penurunan viskositas disebabkan karena adanya kenaikan temperature dan juga adanya additive polimer yang terkandung dalam lumpur yang digunakan.



Gambar 3. Plastic Viscosity Vs Temperatur

3. Pengamatan pada Plastic Viscosity

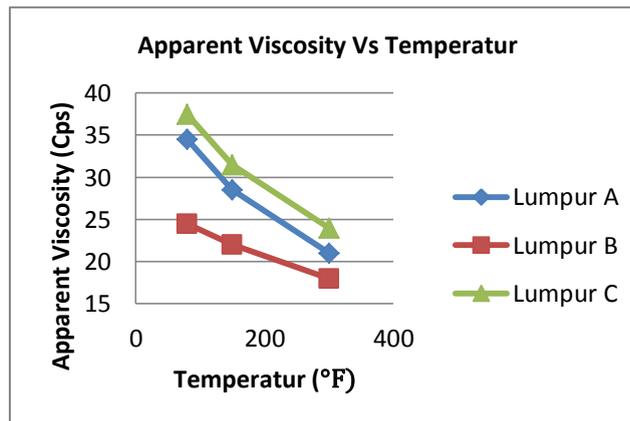
Terlihat pada Gambar 3 (Plastic Viscosity Vs Temperatur) ditemperatur 80^oF sampai 300^oF terjadi penurunan harga *plastic viscosity*. Pada temperature 80^oF besarnya harga *plastic viscosity* lumpur A : 25 cps, lumpur B : 20 cps, lumpur C : 27 cps. Setelah temperatur naik sampai 300^oF harga *plastic viscosity* mengalami penurunan yaitu sebesar, Lumpur A : 16 cps, lumpur B : 15 Cps, lumpur C : 18 cps. Lumpur yang paling baik digunakan adalah lumpur A dan B karena harga plastic viscositynya tahan sampai temperature 300^oF. Sedangkan lumpur C tidak cocok digunakan pada temperatur ruangan karena harga plastic viscositynya terlalu besar melebihi standar spesifikasi lumpur yaitu sebesar 15 - 25 cps. Penyebab terlalu besarnya harga *plastic viscosity* pada lumpur C karena efek dari penambahan barite.



Gambar 4 Yield Point Vs Temperatur

4. Pengamatan pada Yield Point

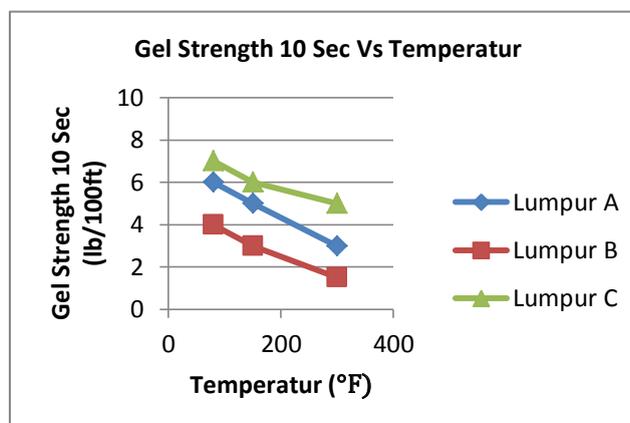
Terlihat pada Gambar 4 (Yield Point Vs Temperatur) ditemperatur 80^oF sampai 300^oF pada lumpur sebelum dan setelah kenaikan temperatur terjadi penurunan harga *yield point*. Disebabkan karena adanya kenaikan temperatur. Pada temperature 80^oF harga *yield point* pada lumpur A : 19 lb/100 ft², lumpur B : 9 lb/100 ft², lumpur C : 21 lb/100 ft², setelah temperatur naik sampai 300^oF harga *yield point* mengalami penurunan menjadi, pada lumpur A : 10 lb/100 ft², lumpur B : 6 lb/100 ft², lumpur C : 12 lb/100 ft². Lumpur A cocok digunakan pada temperatur 80^oF dan 150^oF. Untuk lumpur B tidak cocok digunakan pada semua temperatur. Sedangkan lumpur C cocok di temperature setelah *hot roller* karena harga *yield point* melebihi 12 lb/100ft² spesifikasi standar untuk harga *yield point* yang disarankan adalah 12 lb/100 ft² – 21 lb/100 ft². hal ini disebabkan karena adanya padatan inert pada lumpur yang digunakan.



Gambar 5 Apparent Viscosity Vs Temperatur

5. Pengamatan pada Apparent Viscosity

Pada pengamatan *Apparent Viscosity* terhadap temperatur setelah hot roller 16 jam, terlihat pada Gambar 5 (*Apparent Viscosity Vs Temperatur*) ditemperatur 80°F sampai 300°F pada lumpur sebelum dan sesudah kenaikan temperatur terlihat terjadi penurunan harga *apparent viscosity*. Pada temperature 80°F harga *apparent viscosity* lumpur A : 34,5 cps, lumpur B : 24,5 cps, lumpur C : 37,5 cps. Setelah temperature naik sampai 300°F harga *apparent viscosity* mengalami penurunan yaitu pada lumpur A : 21 cps, lumpur B : 18 cps, lumpur C : 24 cps. Pada lumpur A, B dan C tidak cocok digunakan di semua temperatur. *Apparent viscosity* mengacu pada kecocokan harga viskositas.

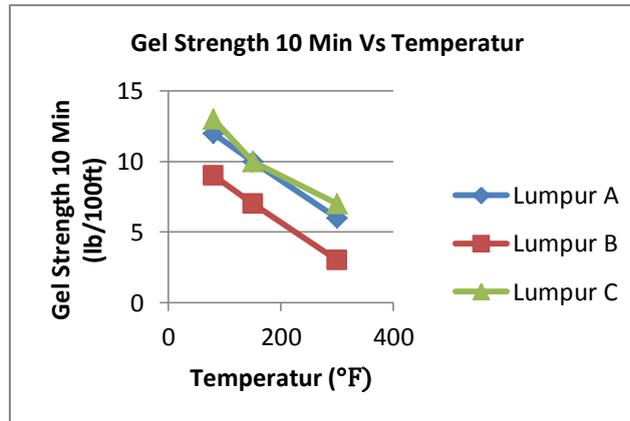


Gambar 6 Gel Strength 10 Sec Vs Temperatur

6. Pengamatan pada Gel Strength 10 Sec

Pada pengamatan *gel strength* 10 detik terhadap temperatur setelah *hot roller* 16 jam, terlihat pada Gambar 6 (*Gel Strength 10 sec Vs Temperatur*) ditemperatur 80°F sampai 300°F pada lumpur sebelum dan sesudah kenaikan temperatur terlihat terjadi penurunan harga *gel strength*. Pada temperature 80°F harga *gel strength* 10 detik sebesar lumpur A : 6 lb/100 ft, lumpur B : 4 lb/100 ft, lumpur C 7 lb/100 ft dan saat temperatur naik sampai 300°F harga *gel strength* 10 detik mengalami penurunan menjadi sebesar lumpur A : 3 lb/100 ft, lumpur B : 1,5 lb/100 ft, lumpur C : 5 lb/100 ft. Pada lumpur A dan C cocok di semua temperatur, pada lumpur B cocok untuk temperature 80°F saja. Pada lumpur A cocok untuk temperature 80°F dan 150°F, lumpur B tidak cocok digunakan di semua temperature sedangkan lumpur C cocok digunakan di semua temperature karena

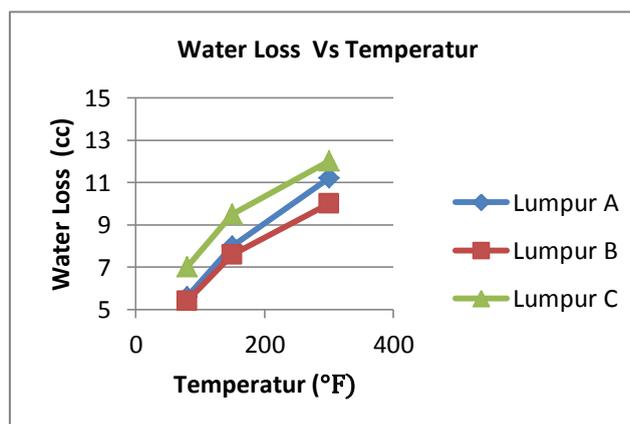
besarnya harga *gel strength* 10 detik masih dalam *range* standar spesifikasi lumpur pemboran yaitu 5 lb/100ft – 10 lb/100 ft.



Gambar 7 Gel Strength 10 Menit Vs Temperatur

7. Pengamatan Pada Gel Strength 10 Menit

Pada pengamatan *gel strength* 10 menit terhadap temperatur setelah hot roller 16 jam, terlihat pada Gambar 7 (Gel Strength 10 menit Vs Temperatur) ditemperatur 80°F sampai 300°F pada lumpur sebelum dan sesudah kenaikan temperatur terlihat terjadi penurunan harga *gel strength* 10 menit. Pada temperature 80°F harga gel strength 10 menit sebesar lumpur A : 12 lb/100 ft, lumpur B : 9 lb/100 ft, lumpur C : 13 lb/100 ft dan saat temperature naik sampai 300°F harga gel strength 10 menit mengalami penurunan menjadi lumpur A sebesar 6 lb/100 ft, lumpur B : 3 lb/100 ft, lumpur C : 7 lb/100 ft. Lumpur A dan lumpur C hanya bertahan hingga temperature 150°F sedangkan untuk lumpur B hanya bertahan di temperature ruangan karena harga gel strengthnya setelah *hot roller* tidak masuk dalam spesifikasi standar lumpur pemboran.

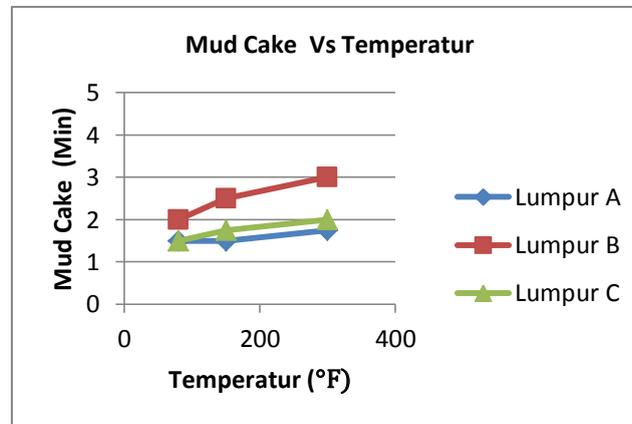


Gambar 8. Water Loss Vs Temperatur

8. Pengamatan pada Water Loss

Pada hasil pengamatan *water loss* terhadap temperatur setelah hot roller 16 jam, terlihat pada Gambar 8 (*Water Loss Vs Temperatur*) ditemperatur 80°F sampai 300°F terjadi kenaikan harga *water loss*. Pada temperature 80°F A, B, C harga *water loss* nya masuk dalam spesifikasi standar lumpur pemboran. Setelah temperatur naik menjadi 150°F

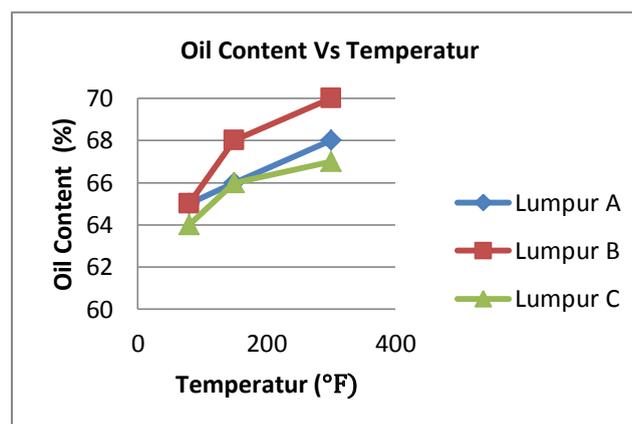
hanya lumpur B yang bertahan karena masuk dalam spek karena harga water lossnya <8 cc. Ketika temperatur naik hingga 300°F semua lumpur tidak cocok digunakan, karena melebihi harga spesifikasi lumpur minyak. *Water loss* harus dijaga agar selalu < 8 cc. Jika water loss terlalu besar bisa menyebabkan kerusakan pada dinding formasi, jika dibiarkan lama kelamaan akan menyebabkan *stuck*.



Gambar 9. Mud Cake Vs Temperatur

9. Pengamatan pada Mud Cake

Pada pengamatan *mud cake* terlihat pada Gambar 9 (*Water Loss Vs Temperatur*) kenaikan harga *mud cake*. Mud cake yang bagus adalah yang setipis mungkin yaitu kurang dari 1,5 mm. Pada temperature 80°F harga mud cake lumpur A dan C : 1,5 mm dan pada lumpur B sebesar 2 mm. Saat temperature naik sampai 300°F harga mud cake mengalami kenaikan menjadi lumpur A sebesar : 1,75 mm, lumpur B : 3,0 mm, lumpur C : 2,0 mm. Lumpur A, B dan C sangat baik digunakan karena memiliki mud cake yang tipis.

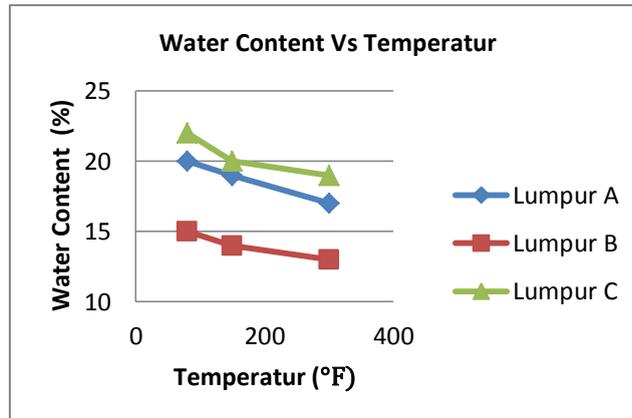


Gambar 10. Oil Content Vs Temperatur

10. Pengamatan pada Oil Content

Pada pengamatan kandungan minyak terlihat pada Gambar 10 (*Oil Content Vs Temperatur*) kenaikan harga kandungan minyak. Kandungan minyak yang bagus adalah pada range 64% - 70%. Pada temperature 80°F harga *oil content* lumpur A dan B : 65% dan pada lumpur C sebesar 64%. Saat temperatur naik sampai 300°F harga *oil content* mengalami kenaikan menjadi lumpur A sebesar : 68%, lumpur B : 70 %, lumpur C : 67 %.

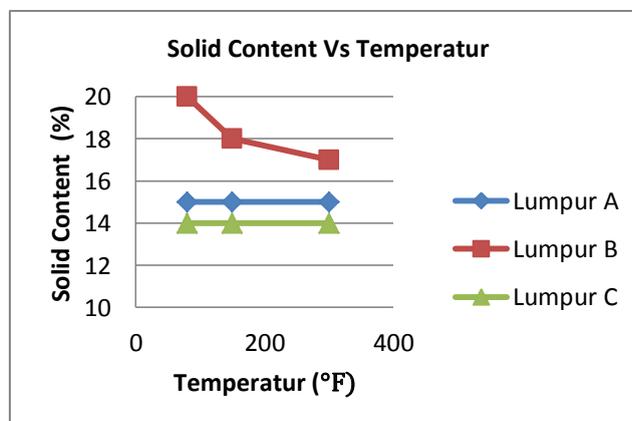
Lumpur A, B dan C sangat baik digunakan karena memiliki kandungan minyak yang masuk dalam range spesifikasi lumpur minyak.



Gambar 11 Water Content Vs Temperatur

11. Pengamatan pada Water Content

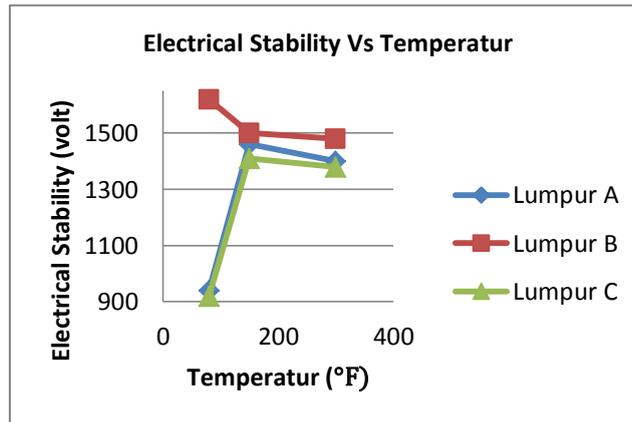
Pada pengamatan kandungan air terlihat pada Gambar 11 (*Water Content Vs Temperatur*) kenaikan harga kandungan air. Kandungan air yang bagus adalah pada range 20% - 24%. Pada temperature 80°F harga *water content* lumpur A: 20%, lumpur B : 15% dan pada lumpur C sebesar 22%. Saat temperatur naik sampai 300°F harga *oil content* mengalami penurunan menjadi lumpur A sebesar : 17%, lumpur B : 13 %, lumpur C : 19 %.



Gambar 12 Solid Content Vs Temperatur

12. Pengamatan pada Solid Content

Pada pengamatan kandungan padatan terlihat pada Gambar 12 (*Solid Content Vs Temperatur*) kenaikan harga kandungan padatan. Kandungan padatan yang bagus adalah pada range 10% - 12%. Pada temperatur 80°F harga *solid content* lumpur A: 15%, lumpur B : 20% dan pada lumpur C sebesar 14%. Saat temperatur naik sampai 300°F harga *solid content* pada lumpur A dan C tetap sedangkan pada lumpur B mengalami penurunan hingga 17 %. Lumpur A, B dan C tidak baik digunakan karena memiliki kandungan padatan yang tinggi melebihi range spesifikasi lumpur minyak.



Gambar 13 Electrical Stability Vs Temperatur

13. Pengamatan pada Electrical Stability

Pada pengamatan *electrical stability* terlihat pada Gambar 13 (*Electrical Stability Vs Temperatur*) kenaikan harga *electrical stability*. Pada temperatur 80°F harga *electrical stability* lumpur A: 940 volt, lumpur B : 1620 volt dan pada lumpur C: 920 volt. Saat temperatur naik sampai 300°F harga *electrical stability* mengalami kenaikan menjadi lumpur A sebesar : 1400 volt, lumpur B : 1480 volt sedangkan lumpur C : 1380 volt.

Kesimpulan

Berikut ini dibahas mengenai kesimpulan dari pengaruh temperatur tinggi terhadap rheologi dari ketiga jenis lumpur minyak yaitu Lumpur A, Lumpur B dan Lumpur C sebagai berikut :

1. Pada hasil pengukuran densitas, lumpur Saraline (lumpur A, B, C) setelah kenaikan temperatur densitasnya mengalami penurunan menjadi 12,5 lb/gal dan 12,6 lb/gal. Semakin tinggi temperature maka akan terjadi penurunan densitas pada lumpur (semakin encer). Karena densitas pada lumpur A, B, C sebesar 12,5 lb/gal dan 12,6 lb/gal maka penurunannya tidak terlalu jauh dan masih dalam *range* spesifikasi standar lumpur pemboran. Lumpur A, B, C sangat cocok untuk lapisan yang memiliki temperature tinggi.
2. Kenaikan temperatur pada lumpur Saraline akan menyebabkan kenaikan pada harga Mud Cake namun tidak terlalu jauh harganya karena pada dasarnya lumpur minyak tahan terhadap temperature tinggi, jadi kenaikan temperature tidak banyak merubah harga dari mud cake. Dan lumpur A memiliki mud cake yang paling bagus ($\leq 1,5$ sampai temperature 150°F)
3. Masing-masing lumpur pada awalnya di set pada densitas yang sama (13 lb/gal) pada lumpur A, B, C setelah dilakukan percobaan sampai temperature 300°F, menghasilkan sifat fisik lumpur dan rheologi lumpur yang berbeda-beda. Dalam hal ini perubahan harga rheologi tidak terlalu jauh, karena lumpur saraline stabil terhadap temperatur.
4. Dari hasil uji coba sifat viskositas lumpur terhadap temperatur, semakin tinggi temperatur maka viskositasnya akan semakin turun. Seperti pengujian lumpur berbahan dasar saraline, pada lumpur A di temperatur 80°F memiliki harga viskositas sebesar 47 *sec/quart* lalu setelah temperatur dinaikkan hingga 300°F menjadi 32 *sec/quart*.
5. Jadi, setelah dianalisa, jika dilihat dari berat jenis lumpur (densitas), viskositas, sifat rheologi (*plastic viscosity*, *yield point* dan *apparent viscosity*), daya agar (*gel strength*), laju tapisan (*water loss*), dan tebal ampas (*mud cake*). Dari 3 lumpur yang telah dilakukan percobaan, lumpur yang paling banyak masuk dalam *range* spesifikasi

standar lumpur setelah ditambah barite, pada temperatur setelah *hot roller* (150°F, 300°F) adalah Lumpur C.

Daftar Pustaka

Aadnoy, Bernt. S dan Reza Looyeh., "*Petroleum Rock Mechanism : Drilling Operations and Well Design*". University of Oxford, 2011.

American Petroleum Institute, "Specification For Drilling Fluid Material Thirteen Edition", USA, 1990.

Azar, JJ., "*Drilling In Petroleum Engineering*", Magcobar Drilling Fluid Manual.

Bourgoyne AT. Et.al., "*Applied Drilling Engineering*". First Printing Society of Petroleum Engineers, RichardsonTX, 1986.

Boyd P.A. Whitfill D.L. cs, "Low Viscosity Base Fluid For Low Toxicity Oil Mud System", 5th Offshore South East Asia, February 1984.

Gatlin, C., "*Petroleum Engineering-Drilling and Well Completion*". Prentice Hall Inc., Englewood Cliffs. New York. 1950.

Lummus James L.,J.J. Azaz, "*Drilling Fluids Optimization : A Practical Field Approach*". Pen-Well Publishing Co., 1986.

Penuntun Praktikum Teknik Lumpur Pemboran. Universitas Trisakti, 2012.

Robani, Sadiya, "Diktat Teknik Lumpur Pemboran", Jurusan Teknik Perminyakan, Universitas Trisakti, Jakarta.

Rubiandini, Rudi, "Teknik Pemboran II", Jurusan Teknik Perminyakan, Institut Teknologi Bandung, Bandung, 1993.