

**EVALUASI GRAVEL PACK DENGAN METODE REVERSE
CIRCULATION PADA SUMUR TOTAL LOSS SIRKULASI DI
LAPANGAN XY**

TUGAS AKHIR

Diajukan guna melengkapi syarat dalam mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh

ARTHA RAHADITYA GRIBALDI

NPM 143210433



PROGRAM STUDI TEKNIK PERMINYAKAN

UNIVERSITAS ISLAM RIAU

PEKANBARU

2020

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas akhir ini disusun oleh :

Nama : Artha Rahaditya Gribaldi
NPM : 143210433
Program Studi : Teknik Perminyakan
Judul Skripsi : Evaluasi *Gravel Pack* Dengan Metode *Reverse Circulation* Pada Sumur Total Loss Sirkulasi Di Lapangan XY

Telah berhasil dipertahankan dihadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Perminyakan, Fakultas Teknik, Universitas Islam Riau

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. H. Ali Musnal.,MT ()

Penguji I : Richa Melyssa, ST.,MT ()

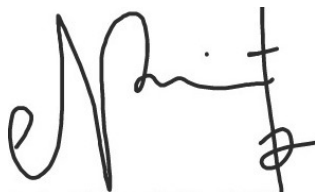
Penguji II : Idham Khalid, ST.,MT ()

Ditetapkan di : Pekanbaru

Tanggal : 02 September 2020

Disahkan Oleh:

**KETUA PROGRAM STUDI
TEKNIK PERMINYAKAN**



NOVIA RITA, ST.,MT

**DOSEN PEMBIMBING
TUGAS AKHIR**



Ir. H. ALI MUSNAL.,MT

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa tugas akhir ini merupakan karya saya sendiri dan semua sumber yang tercantum di dalamnya baik yang di kutip maupun di rujuk telah saya nyatakan dengan benar sesuai ketentuan. Saya bersedia dicabut gelar dan ijazah jika di temukan data atau plagiat dari penulis lain.

Pekanbaru, 02 September 2020

Artha Rahaditya Gribaldi
NPM 143210433



KATA PENGANTAR

Rasa syukur disampaikan kepada Allah Subhanna wa Ta'ala karena atas Rahmat dan limpahan ilmu dari-Nya saya dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Penulisan tugas akhir ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Perminyakan, Universitas Islam Riau. Saya menyadari bahwa banyak pihak yang telah membantu dan mendorong saya untuk menyelesaikan tugas akhir ini serta memperoleh ilmu pengetahuan selama perkuliahan. Tanpa bantuan dari mereka tentu akan sulit rasanya untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik ini. Oleh karena itu saya ingin mengucapkan terimakasih kepada :

1. Bapak Ir. H. Ali Musnal, MT selaku dosen pembimbing, yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk memberikan masukan dalam penyusunan tugas akhir ini.
2. BOB PT. BSP-Pertamina Hulu yang telah memberikan kesempatan untuk pengambilan data dan menyediakan tempat untuk pelaksanaan penelitian tugas akhir ini.
3. Pak Zul Amri selaku pembimbing lapangan, yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk memberikan masukan dan motivasi dalam penyusunan tugas akhir ini.
4. Ketua program studi ibu Novia Rita, ST.,MT dan sekretaris program studi bapak Tomi Erfando, ST., MT serta dosen-dosen yang sangat banyak membantu terkait perkuliahan, ilmu pengetahuan dan hal lain yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu.
5. Ibu Novia Rita, ST., MT selaku Pembimbing Akademik yang telah memberikan arahan, nasihat, penyemangat selama menjalani perkuliahan di Teknik Perminyakan Universitas Islam Riau.
6. Orang tua yakni Mama Sumartina dan Papa Ir. John Taufik serta kakak, adik dan seluruh keluarga yang telah memberikan dukungan penuh akan material maupun moral yang hingga saat ini mampu memberikan semangat untuk setiap langkah yang saya ambil.

7. Sahabat dan Teman serta rekan seperjuangan yang membantu saya tanpa kenal waktu tanpa kenal lelah. Vivi Kumala Oktari, S.Ab, 7Something, dan angkatan 14 khususnya kelas D.

Semoga Allah memberikan balasan atas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan.

Pekanbaru, 02 September 2020

Artha Rahaditya Gribaldi



DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR GRAFIK.....	viii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR SINGKATAN	x
DAFTAR SIMBOL.....	xi
ABSTRAK	xii
<i>ABSTRACT</i>	xiii
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar belakang masalah	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	1
1.3 Manfaat Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
BAB II.....	3
TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 LOST CIRCULATION	3
2.1.1 Faktor-faktor yang menyebabkan loss sirkulasi.....	4
2.1.2 Jenis-jenis loss sirkulasi	5
2.2 MASALAH KEPASIRAN.....	5
2.2.1 Penyebab terproduksinya pasir	5
2.2.2 Akibat terproduksinya pasir	6
2.3 CARA PENANGGULANGAN MASALAH KEPASIRAN	7
2.3.1 Metode untuk masalah kepasiran	7
2.3.2 Prinsip Gravel Pack.....	9
2.3.3 Jenis-jenis Gravel Pack	10
2.3.4 Perencanaan Gravel Pack.....	13
2.4 PERHITUNGAN VOLUME REVERSE OUT	16
2.5 PERHITUNGAN VOLUME GRAVEL SLURRY	17
2.6 METODE PEMOMPAAN GRAVEL SLURRY	18
2.7 PROSEDUR PEMOMPAAN GRAVEL SLURRY.....	19
BAB III	22

METODOLOGI PENELITIAN.....	22
3.1 JENIS METODE PENELITIAN.....	22
3.2 SEJARAH LAPANGAN XY.....	23
3.3 KONDISI GEOLOGI LAPANGAN XY	23
3.4 KARAKTERISTIK LAPANGAN XY	24
3.5 LINGKUNGAN PENGENDAPAN.....	24
3.6 PERHITUNGAN VOLUME REVERSE OUT	24
3.7 PERHITUNGAN VOLUME GRAVEL SLURRY	25
3.8 WAKTU PENELITIAN.....	26
3.9 TEMPAT PENELITIAN.....	26
3.10 RENCANA PELAKSANAAN TUGAS AKHIR.....	26
BAB IV	27
HASIL DAN PEMBAHASAN.....	27
4.1 Perhitungan Reverse Out Volume.....	27
4.2 Perhitungan Gravel Sand Yang Digunakan.....	31
4.3 <i>Pressure Test Line</i>	32
4.4 <i>Reverse Out</i>	33
4.5 Pemompaan Gravel Slurry dan Problem Lost Circulation.....	34
4.5.1 Rate dan Menaikkan Densitas.....	36
4.5.2 <i>Waiting On sand Sattle</i>	36
4.6 Perhitungan <i>Gravel Sand</i> Yang Hilang.....	38
4.7 Pembahasan <i>Reverse Out</i>	40
4.8 Pembahasan <i>Gravel Pack Job</i>	41
4.9 Pembahasan <i>Lost Circulation</i> Pada Saat Pemompaan <i>Gravel Slurry</i>	42
4.9.1 Menurunkan <i>Rate</i> dan Menaikkan Densitas	42
4.9.2 <i>Waiting On Sand Sattle</i>	42
4.10 Pembahasan Jumlah <i>Gravel Sand</i> Yang Hilang	43
BAB V.....	45
KESIMPULAN.....	45
5.1 Kesimpulan.....	45
5.2 Saran.....	45
FLOW CHART TUGAS AKHIR.....	46
DAFTAR PUSTAKA	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Prinsip Gravel Pack	9
Gambar 2.2 Skema Cased hole (Internal) gravel pack	11
Gambar 2.3 External Gravel Pack	13
Gambar 2.4 Pengaruh kebasahan Gravel pada Permeabilitas Batuan terhadap Minyak	14
Gambar 2.5 Penurunan Permeabilitas Gravel karena Invasi Pasir	16
Gambar 2.6 <i>Gravel Pack Tool</i>	20
Gambar 4.1 Gambar aliran <i>Reverse Out</i>	40
Gambar 4.2 <i>Gravel Sand</i> pada <i>Annulus Open Hole – Liner</i>	41

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1 Grafik <i>Pressure Test Line</i>	33
Grafik 4.2 Grafik <i>pump Reverse Out</i>	34
Grafik 4.3 Grafik <i>Open Hole Gravel Pack</i>	35
Grafik 4.4 Grafik yang menunjukkan <i>Waiting On Sand Sattle</i>	37
Grafik 4.5 Grafik <i>Open Hole Gravel Pack</i> (lanjutan).....	37
Grafik 4.6 Grafik yang menunjukkan adanya <i>clay</i>	43



DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Tabel Jumlah *Gravel Sand* berdasarkan Densitas 38



Dokumen ini adalah Arsip Miik :
Perpustakaan Universitas Islam Riau

DAFTAR SINGKATAN

OHGP	<i>Open Hole Gravel Pack</i>
CHGP	<i>Case-Hole Gravel Pack</i>
GPT	<i>Gravel Packing Tool</i>
TBA	<i>Top Bottom Assambly</i>
CLAM	<i>Central Liquid Additive Mixing</i>
DP	<i>Drill Pipe</i>



DAFTAR SIMBOL

Bbl	Barrel
P	Densitas
lb	Pounds
ft	feet
ft ²	Cuft



EVALUASI GRAVEL PACK DENGAN METODE *REVERSE CIRCULATION* PADA SUMUR TOTAL LOSS SIRKULASI DI LAPANGAN XY

ARTHA RAHADITYA GRIBALDI
143210433

ABSTRAK

Masalah kepasiran merupakan hal yang penting untuk diatasi. Masalah kepasiran dapat mengakibatkan penurunan nilai produksi pada sumur produksi, khususnya sumur total loss sirkulasi dilapangan XY. Masalah kepasiran terjadi pada sumur total loss sirkulasi akibat tipe batuan *unconsolidated* pada lapisan sumur dilapangan XY yang memiliki sementasi ukuran butir yang sangat halus.

Dampak dari loss sirkulasi apabila tidak dilakukannya tindakan tersebut antara lain menghambat proses pekerjaan pemboran, penambahan biaya (*cost*), penambahan waktu pekerjaan, hilangnya sebagian atau seluruh *gravel slurry* ke dalam zona formasi. Akan tetapi, pada saat melakukan pemompaan *gravel slurry* terdapat beberapa masalah antara lain adalah hilangnya sebagian maupun seluruh *gravel slurry* ke dalam formasi yang biasa dikenal dengan *lost circulation*.

Untuk itu dibutuhkan metode yang tepat agar dapat mengatasi *lost circulation* pada saat memompakan *gravel slurry* sehingga produksinya pada suatu sumur dapat kembali meningkat. Metode yang umum digunakan untuk penanggulangan *problem lost circulation* yaitu Metode *gravel pack*, metoda ini dilakukan dengan tujuan untuk menghentikan pergerakan pasir formasi. Pada penelitian ini, dilakukan perhitungan jumlah *gravel sand* yang akan dipompakan dan jumlah *gravel sand* yang hilang serta keberhasilan penanggulangan dengan metode *gravel pack*

Kata kunci : *Gravel pack, Gravel slurry, lost circulation, unconsolidate*

EVALUATION OF GRAVEL PACK USING REVERSE CIRCULATION METHOD IN THE TOTAL LOSS CIRCULATION WELL IN XY FIELD

ARTHA RAHADITYA GRIBALDI
143210433

ABSTRACT

The problem of sandiness is an important thing to overcome. The problem of sandiness can result in a decrease in the value of production at the production well, especially the total well of circulation loss in the XY field. The problem of sandiness occurs in the total circulation loss wells due to unconsolidated rock types in the well layer in the XY field which have cementation of very fine grain size.

The impact of loss of circulation if the action is not carried out, among others, is hampering the drilling work process, adding costs, increasing work time, losing some or all of the gravel slurry into the formation zone. However, when pumping gravel slurry there are a number of problems including the loss of some or all of the gravel slurry into the formation commonly known as lost circulation.

For this reason, an appropriate method is needed to overcome lost circulation when pumping gravel slurry so that production in a well can increase again. The method commonly used to overcome the problem of lost circulation is the gravel pack method, this method is done with the aim to stop the movement of formation sand. In this study, the calculation of the number of gravel sand to be pumped and the number of gravel sand lost and the success of countermeasures using the gravel pack method.

Keyword : *Gravel pack, Gravel slurry, lost circulation, unconsolidate*

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang masalah

Masalah kepasiran merupakan hal yang penting untuk diatasi. Masalah kepasiran dapat mengakibatkan penurunan nilai produksi pada sumur produksi, khususnya sumur loss sirkulasi dilapangan XY. Masalah kepasiran terjadi pada sumur loss sirkulasi akibat tipe batuan *unconsolidated* pada lapisan sumur dilapangan XY yang memiliki sementasi ukuran butir yang sangat halus.

Adapun dampak-dampak dari loss sirkulasi apabila tidak dilakukannya tindakan tersebut antara lain menghambat proses pekerjaan pemboran, penambahan biaya (*cost*), penambahan waktu pekerjaan, hilangnya sebagian atau seluruh *gravel slurry* ke dalam zona formasi.

Gravel sand merupakan pasir yang dimasukkan ke dalam annulus antara *screen liner* dan dinding formasi *open hole*. Pasir akan dipompakan sampai mengisi seluruh ruangan pada annulus hingga padat. Penempatan *gravel sand* antara annulus *screen liner* dan *open hole* dapat menghambat terproduksinya pasir dari bersama fluida ke permukaan. Akan tetapi, pada saat melakukan pemompaan *gravel slurry* terdapat beberapa masalah antara lain adalah hilangnya sebagian maupun seluruh *gravel slurry* ke dalam formasi yang biasa dikenal dengan *lost circulation*. Untuk itu dibutuhkan metode yang tepat agar dapat mengatasi *lost circulation* pada saat memompakan *gravel slurry* sehingga produksinya pada suatu sumur dapat kembali meningkat. (Tulsa, 1981)

Metode yang umum digunakan untuk penanggulangan *problem lost circulation* yaitu Metode *gravel pack*, metoda ini dilakukan dengan tujuan untuk menghentikan pergerakan pasir formasi. (Kusuma, 2005)

Pada penelitian ini, dilakukan perhitungan jumlah *gravel sand* yang akan dipompakan dan jumlah *gravel sand* yang hilang serta keberhasilan penanggulangan dengan metode *gravel pack*.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Evaluasi *gravel pack job* serta *problem* yang terjadi saat pekerjaan *gravel pack*

2. Menentukan *volume gravel slurry* yang akan dipompakan pada sumur loss sirkulasi lapangan XY
3. Penanggulangan *lost circulation* dengan metode *gravel pack* dan menentukan jumlah *gravel sand* yang hilang akibat *lost circulation*

1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat yang di harapkan dalam penelitian ini ialah:

1. Bagi Peneliti

Manfaat bagi penelitian ini diharapkan bermanfaat bagi penulis untuk menambah wawasan penulis dibidang pengeboran dan produksi khususnya mengenai *Gravel Pack* pada sumur loss sirkulasi dilapangan XY.

2. Bagi Akademis

Bagi akademis penelitian ini diharapkan dapat menjadi literatur bagi teman-teman mahasiswa dan pihak-pihak lain yang akan menyusun skripsi atau melakukan penelitian selanjutnya.

3. Bagi Pihak Lain

Sebagai masukan bagi pihak-pihak yang berkepentingan dalam menambah wawasan dan keilmuan khususnya menyangkut tentang *Gravel Pack* pada sumur loss sirkulasi dilapangan XY.

1.4 Batasan Masalah

Agar penyusunan tugas akhir lebih tersusun dan terarah maka penulis memberikan batasan masalah yang sesuai dengan judul, yaitu “Evaluasi *gravel pack* dengan metode *Reverse Circulation* pada sumur total loss sirkulasi dilapangan XY” dan hanya menggunakan data sesuai dengan *gravel pack job* yang dilakukan dilapangan XY, dan tidak membahas masalah keekonomiannya.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Al-Qur'an sebagai sumber hukum islam, secara tegas telah mengatur ketentuan tentang kepemilikan dalam islam. Kepemilikan hakikatnya, adalah milik Allah SWT secara absolut. Dalam Al-Qur'an Surat Saba ayat 12 berbunyi "*wa asalnaa lahuu 'ainal qithr*". Jika kata "qithr" disini diterjemahkan sebagai "ter/tir" yang merupakan "minyak mentah" maka tidak memerlukan tafsiran tambahan dengan kata "yang meleleh" seperti yang terdapat pada kitab-kitab tafsir dan Terjemah Al-Qur'an. Kalau kita teliti kembali ayat tersebut dengan seksama, ada dua kata yang menurut penulis sangat signifikan dalam mengkaji kebenaran akan ayat tersebut yaitu ASALNAA (kami alirkan) dan 'AIN (sesuatu yang dialirkan) secara bahasa biasanya berkaitan dengan benda cair. Dengan demikian QS Saba (34) ayat 12 lebih tepat terjamahnya adalah "*dan kami alirkan padanya (Nabi Sulaiman) sumur minyak (spring of oil)*". Kesimpulannya, boleh jadi sumur minyak pertama sudah ada sejak Nabi Sulaeman AS. Dalam hal ini sumur minyak dapat menimbulkan munculnya suatu masalah pada proses pekerjaan sumur yang dapat muncul di kemudian hari yaitu *Lost Circulation*.

2.1 LOST CIRCULATION

Lost circulation didefinisikan sebagai hilangnya *gravel sand* atau *gravel slurry* sebagian maupun seluruhnya selama proses memompakan *gravel slurry*. Secara ilmiah, jenis dan tekanan formasi dapat mengakibatkan masuknya *Gravel Sand* kedalam formasi. *Lost circulation* merupakan permasalahan yang sering dihadapi dilapangan selama proses pemompaan *Gravel Slurry*.(Tulsa,1981)

Pada umumnya *lost circulation* yang terjadi pada saat memompakan *gravel slurry* yang diakibatkan adanya *frac* (rekahan). Kerugian akibat terjadinya *lost circulation* ini adalah apabila *gravel sand* yang kita perlukan lebih banyak, maka membutuhkan tambahan biaya dari yang sudah kita rencanakan.

2.1.1 Faktor-faktor yang menyebabkan loss sirkulasi

(Howard,1950) Menjelaskan faktor-faktor yang dapat menyebabkan *lost circulation* adalah sebagai berikut :

1. Jenis Formasi

Berdasarkan jenis formasinya, apabila formasi yang memiliki permeabel besar, gua-gua dan rekahan, maka *lost circulation* dapat terjadi.

2. Formasi Permeabel Besar

Di dalam formasi permeabel besar terdapat batu pasir dan gravel. Adapun keadaan diameter lubang atau pori-pori batuan informasi memiliki perbandingan yaitu tiga kali lebih besar dari diameter butiran padat dari lumpur, dan tekanan hidrostatis lumpur memiliki perbandingan lebih besar 10% dari tekanan formasi.

3. Aktivitas Pemboran

Salah satu aktivitas yang dilakukan pada sumur yang menggunakan kompleksi *Open Hole Gravel Pack* adalah memperbesar diameter pada zona produktif atau yang disebut dengan *underreaming*. Pekerjaan ini sering kali mengakibatkan runtuhnya dinding formasi yang *unconsolidated* sehingga akan berdampak pada terjadinya *lost circulation* ketika memompakan *gravel slurry*.

4. Aliran Fluida Ke Sumur Produksi

Sumur yang sudah lama berproduksi sering kali memiliki permeabilitas yang semakin besar terutama pada formasi yang tidak *consolidated* sehingga ketika dilakukan kerja ulang (*workover*) dimana liner dari sumur tersebut akan diganti maka sering terjadi *lost circulation* saat *gravel slurry* dipompakan.

5. Lemahnya Formasi di Casing Shoe

Saat *pressure* mulai naik dimana *pack pressure* akan didapatkan, sering terjadi kehilangan *pressure* dan kehilangan fluida secara tiba-tiba dimana total pasir yang masuk ke annulus hampir memenuhi *volume Open Hole*. Hal ini disebabkan pasir yang masuk sudah mencapai *casing shoe*, sementara *casing shoe* tersebut lemah terhadap tekanan sehingga terjadilah *Lost Circulation*.

2.1.2 Jenis-jenis loss sirkulasi

(Tulsa,1981) Menurut klasifikasinya, *lost circulation* terbagi menjadi 3 jenis *lost*, yaitu :

1. *Seepage Lost*, terjadi apabila fluida (*gravel sand*) hilang dengan jumlah relatif kecil, yaitu kurang dari 15bbl/jam.
2. *Partial Lost*, terjadi apabila fluida (*gravel sand*) hilang dengan jumlah yang cukup besar, yaitu lebih besar dari 15bbl/jam.
3. *Total Lost*, masuknya keseluruhan fluida (*gravel sand*) kedalam formasi dengan jumlah yang sangat besar sehingga tidak akan ada sirkulasi balik.

2.2 MASALAH KEPASIRAN

Masalah kepasiran terjadi akibat rusaknya komponen-komponen ikatan dari butir-butir pasir yang disebabkan oleh adanya gaya gesekan serta tumbukan yang ditimbulkan oleh suatu aliran dari fluida dimana laju aliran yang terjadi melawati batas maksimum dari laju aliran kritis yang diperbolehkan, sehingga membuat butiran-butiran pasir akan ikut terproduksi bersama-sama dengan minyak ke permukaan. (Kuncoro,2001)

2.2.1 Penyebab terproduksinya pasir

Penyebab terproduksinya pasir ada hubungannya dengan :

1. Tenaga pengerukan (*drag force*), yaitu tenaga yang terjadi oleh aliran fluida dimana laju aliran dan viskositasnya meningkat menjadi lebih tinggi.
2. Pengurangan *strength* formasinya, hal ini sering dihubungkan dengan produksinya air karena akan melarutkan material penyemen atau pengurangan gaya kapiler dengan meningkatnya saturasi air.
3. Penurunan tekanan reservoir, dengan penurunan ini akan mengganggu sifat penyemenan antar batuan.

Selain dari kekuatan formasi, terdapat faktor lain yang dapat menyebabkan masalah kepasiran adalah sebagai berikut :

1. Tingginya kapasitas produksi fluida yang bekerja pada lengkungan kestabilan pasir juga tinggi. Jika penurunan tekanan telah melewati batas kestabilan lengkungan pasir, maka lengkungan kestabilan menjadi runtuh. Lengkungan kestabilan yang lebih kecil umumnya lebih kuat.
2. Pertambahan saturasi air menyebabkan gaya kapileritas yang menahan butiran pasir pada lengkungan kestabilan menjadi berkurang atau hilang sama sekali, sehingga lengkungan kestabilan pasir mudah runtuh.

2.2.2 Akibat terproduksinya pasir

Kepasiran dapat menghambat kelangsungan operasi produksi, baik pada sumur atau dipermukaan. Masalah yang dapat ditimbulkan oleh kepasiran antara lain :

1. Kapasitas produksi turun dratis akibat naiknya butiran pasir tersuspensi dalam fluida produksi. Faktor lainnya antara lain : tersumbatnya lubang perforasi dan pipa salur di permukaan.
2. Pembengkokan selubung atau liner akibat terbentuknya rongga-rongga di sekitar lubang perforasi karena pasir terproduksi terus-menerus ke permukaan.
3. Pengikisan atau erosi pada peralatan produksi dibawah permukaan dan di permukaan pada choke atau di persimpangan pipa salur.

(Kohlhass,1995) Menjelaskan berdasarkan kemudahan pasir ikut terproduksi maka formasi batuan dengan jenis *unconsolidated*, maka dapat dibedakan dalam tiga jenis sebagai berikut :

1. *Quicksand*

Pada formasi jenis ini ikatan antar butiran pasir lemah. Oleh karena itu mudah bergerak bersama-sama fluida produksi. Ikut terproduksinya pasir jenis ini tidak menyebabkan pembesaran lubang disekitar sumur karena

rongga-rongga yang semula ditempati pasir yang ikut terproduksi selalu diisi oleh pasir yang tersuspensi fluida produksi.

2. *Packed Sand*

Formasi jenis ini mempunyai bahan penyemenan yang sangat sedikit sehingga kekuatan sementasinya sangat lemah dan pasir mudah terproduksi bersama fluida dengan kapasitas produksi tertentu.

3. *Friable Sand*

Pada formasi pasir jenis ini ikatan antar butirnya nampak cukup kuat tetapi pada kenyataannya butiran pasir dapat tererosi oleh fluida yang terproduksi.

2.3 CARA PENANGGULANGAN MASALAH KEPASIRAN

Metoda *sand control* harus direncanakan sedemikian rupa, sehingga butiran-butiran pasir dapat dicegah masuk kedalam sumur produksi.

2.3.1 Metode untuk masalah kepasiran

Dalam hal ini ada beberapa cara menanggulangi pasir yaitu dengan metode *Liner Completion*, *MeshRite Liner*, *Perforated Liner Completion*, dan *Gravel Pack Completion*. Dengan beberapa metode tersebut, pasir dapat dicegah agar tidak ikut terproduksi. (Oyenyin, 1998)

1. *Liner Completion*

Liner Completion ini bertujuan untuk menahan laju aliran butiran pasir yang ikut terproduksi bersama fluida reservoir sehingga fluida melaju tanpa adanya hambatan. Idealnya, lebar lubang (*slot*) pada liner harus dapat menahan butiran pasir, tetapi tidak membatasi aliran fluida.

2. *MeshRite Liner*

Meshrite (Stand Alone Screen) merupakan jenis *sand control* selain *open hole gravel pack (OHGP)* yang sudah diaplikasikan pada suatu lapangan. Meshrite berpengaruh terhadap penghematan waktu dan hasil yang maksimal terutama jika diaplikasikan di sumur *horizontal* yang panjang dan tentu biaya (*cost*) yang digunakan juga tidak sedikit. Meshrite ini juga mampu digunakan untuk kapasitas aliran yang tinggi.

3. Perforated Liner Completion

Pada *perforated liner completion* ini, *casing* dipasang di atas zona produktifnya kemudian dibor dan dipasang *casing liner* dan disemen. Selanjutnya liner diperforasi untuk produksi. Pada *perforated liner completion* ini, *cost* yang digunakan juga lebih banyak dari OHGP untuk biaya perforasi dan penyemenan. Tetapi dengan keuntungan dapat mengurangi kerusakan formasi dan kedalaman sumur dapat ditambah dengan mudah.

4. Gravel Pack Completion

Pemasangan *gravel pack* bertujuan untuk menghentikan pergerakan pasir formasi, serta memungkinkan produksi ditingkatkan sampai kapasitas maksimum. Pada kenyataannya, operasi *gravel pack* gagal meningkatkan kapasitas produksi, meskipun dapat menahan pergerakan pasir.

Kegagalan ini disebabkan karena berkurangnya permeabilitas di depan zona produktif, akibat partikel-partikel halus bercampur dengan *gravel*. Pencampuran partikel-partikel ini dapat terjadi baik pada saat operasi *gravel packing* sedang berjalan maupun sesudahnya.

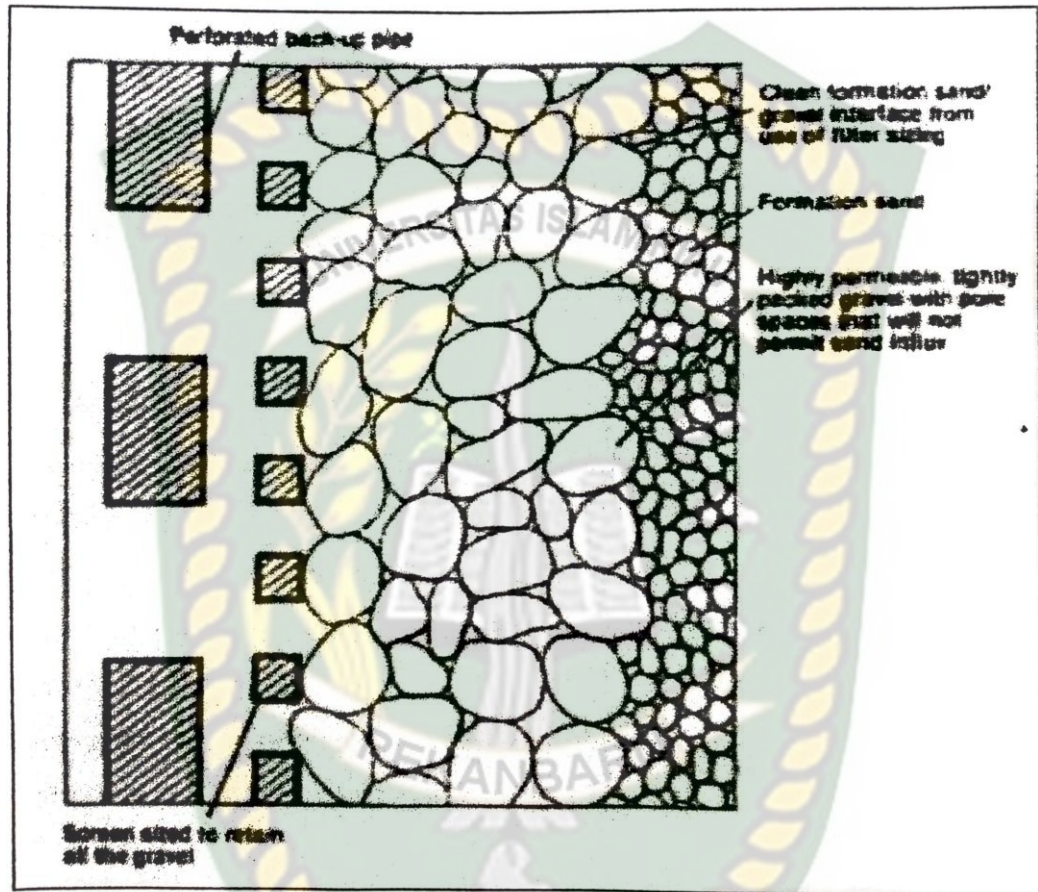
Pendekatan analitik dari *gravel pack* yang digunakan adalah berdasarkan pada pori-pori antara butiran-butiran gravel. Secara teoritis *packing* yang paling longgar, yang dibentuk dari partikel-partikel bulat dengan ukuran seragam adalah *cubic packing*. Dengan susunan tersebut, partikel yang dapat melewati ruangan antara partikel tersebut berukuran $0.4142 \times$ diameter partikel yang membentuk *packing*.

Sedangkan *packing* yang paling rapat adalah berbentuk hexagonal dan partikel yang dapat melewati ruangan antar partikel tersebut berukuran $0.1545 \times$ diameter yang membentuk *packing*. Dari percobaan, ternyata bentuk *packing* yang terjadi mendekati *hexagonal packing*. Dengan demikian ukuran *gravel* yang digunakan harus lebih kecil atau sama dengan $6.64 \times$ diameter pasir formasi yang terkecil.

Tetapi, ternyata butiran-butiran pasir yang halus dapat membentuk *bridge* yang stabil di muka celah-celah partikel *gravel*. Dengan demikian ukuran celah-celah tidak lebih besar dari tiga kali ukuran partikel.

2.3.2 Prinsip Gravel Pack

Prinsip *gravel pack* adalah mencegah terproduksinya pasir dengan memasang gravel yang mempunyai permeabilitas yang tinggi tetapi tidak dapat dilewati oleh partikel pasir formasi.



Gambar 2.1 Prinsip Gravel Pack

Pemakaian gravel itu baik untuk formasi yang tebal, seragam (*uniform*) dan halus. Keseragaman dan ukuran butiran berhubungan dengan perencanaan ukuran gravel. Selain itu perencanaan gravel tergantung pula kepada pengalaman seseorang. Sekarang ini para ahli cenderung untuk memakai gravel berukuran lebih kecil.

Keuntungan penggunaan *gravel pack* antara lain :

1. Efektif digunakan pada zona produksi yang intervalnya panjang
2. Dapat digunakan untuk sumur yang sudah lama dan telah memproduksi pasir

3. Mempunyai permeabilitas yang relatif tinggi dan dapat diterapkan pada formasi yang mempunyai permeabilitas bervariasi

Kekurangan penggunaan *gravel pack* antara lain :

1. Berkurangnya diameter lubang sumur karena adanya screen di dalam lubang sehingga dapat mengganggu operasi yang lain
2. Screen yang digunakan harus tahan terhadap korosi dan erosi yang disebabkan oleh fluida produksi

Gravel Pack merupakan workover yang terbaik untuk single completion dengan zone produksi yang panjang. Pelaksanaannya adalah sebagai berikut :

1. Pembersihan perforasi dengan clean fluid sebelum gravel pack dipasang
2. Penentuan ukuran gravel pack sesuai dengan ukuran butir pasir formasi
3. Squeeze gravel pack ke dalam lubang perforasi, digunakan water wet gravel jika digunakan oil placement fluid
4. Produksikan sumur dengan segera setelah packing, aliran produksi dimulai dengan laju produksi rendah kemudian dilanjutkan dengan kenaikan laju produksi sedikit demi sedikit

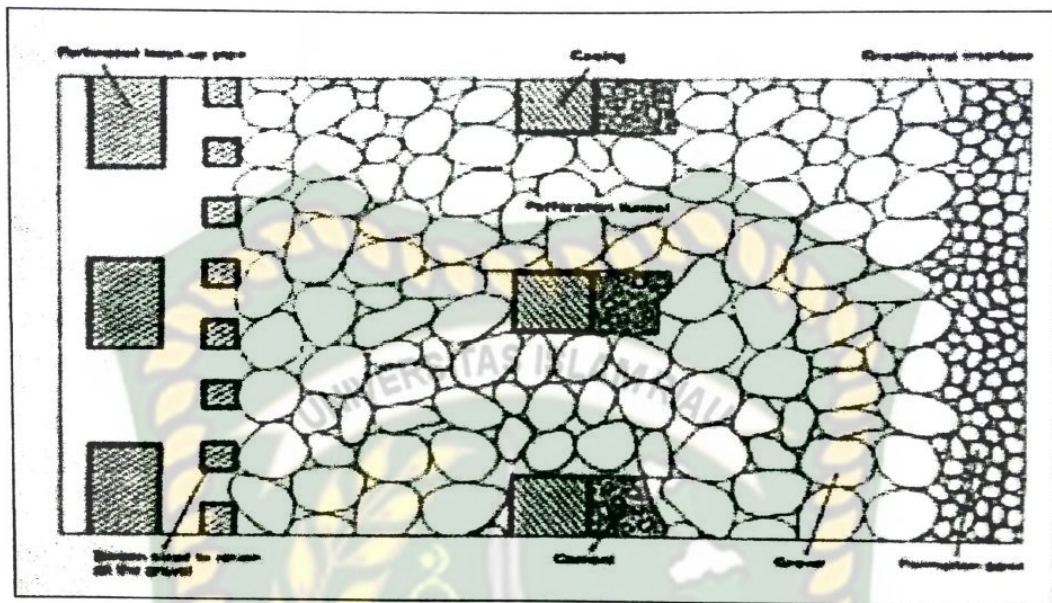
2.3.3 Jenis-jenis Gravel Pack

1. Internal *Gravel Pack* (IGP) atau Cased-Hole *Gravel Pack*

Cased-Hole Gravel Pack mulai digunakan sekitar pertengahan tahun 1970 dan biasanya digunakan untuk sumur yang memproduksi minyak ringan atau minyak sedang (medium oil) maupun untuk sumur gas. *Gravel Pack* yang ditempatkan antara *casing* yang diperforasi dengan pipa saringan. *Casing* ditempatkan di atas zona produktif dan pada interval yang akan dikompleksi dilakukan *underreaming* yang bertujuan untuk menghilangkan *damage* yang disebabkan oleh proses pemboran. *Screen* digantung seperti *liner* tanpa di semen dan ruang antara *screen* dan formasi diisi dengan gravel.

Dari skema (gambar 2.2) terlihat bahwa fluida produksi untuk mencapai lubang sumur harus mengalir melalui lubang perforasi yang dipenuhi oleh gravel kemudian melewati gravel dan *screen*. Hal ini akan sangat mempengaruhi

produktifitas sumur yang ditentukan oleh hambatan paling besar pada bagian perforasi dimana pola aliran berubah menjadi linier dari pola radial.



Gambar 2.2 Skema Cased hole (Internal) gravel pack

Kesulitan yang sering dijumpai dalam operasi *gravel pack* adalah bagaimana mentransport dan meletakkan gravel di dalam lubang perforasi. Untuk itu perforasi yang dilakukan harus mempunyai ukuran diameter yang besar yaitu % in sampai 1 in dengan densitas yang tinggi (8 sampai 12 shoot per foot), dan *damage* yang disebabkan operasi pemboran dan pada saat pelaksanaan perforasi harus dibersihkan.

Ukuran gravel dipilih agar memberikan permeabilitas yang maksimum namun masih dapat menahan aliran partikel pasir dari formasi agar tidak terjadi pencampuran partikel pasir dan gravel yang akan menurunkan permeabilitas gravel. Susunan gravel didalam *annulus* maupun didalam lubang perforasi harus ketat (*tight*) tanpa kekosongan.

Screen didesain agar memberikan hambatan sekecil mungkin terhadap aliran fluida produksi namun masih dapat berfungsi secara optimum untuk mencegah gravel terlepas dan masuk *tubing string*. *Screen* harus diletakkan ditengah lubang dan terbuat dari bahan yang tahan terhadap korosi maupun erosi.

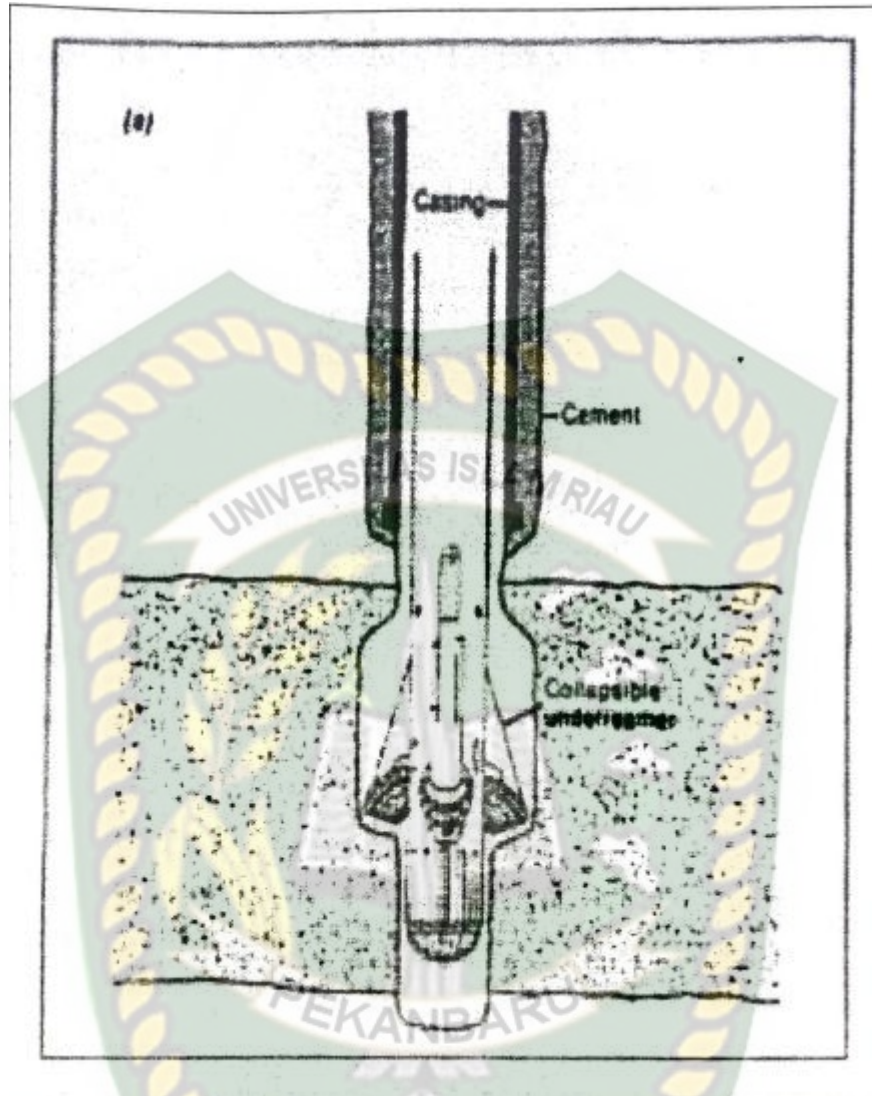
Kondisi ideal diatas sangat sulit untuk dicapai. Masalah utamanya terletak pada bagian perforasi. Peletakan gravel dengan efisiensi yang tinggi dimana tidak memungkinkan tercampurnya pasir dari formasi dengan gravel sangat sulit

dilakukan terutama pada *depleted zone*, zona yang dangkal dan *formasi poorly consolidated*.

2. Open Hole Gravel Pack (OHGP)

Gravel pack yang ditempatkan di antara saringan dengan dinding bor pada formasi produktif. *Casing* produksi diletakkan di atas zona produksi atau dilakukan *milling out* sepanjang zona produksi. Gravel ditempatkan antara *screen* dan formasi. *Underreaming* dilakukan untuk menghilangkan *damage* akibat proses pemboran dan untuk mengurangi hambatan aliran dengan jalan memperlebar jari-jari lubang sumur. *Underreaming* dan perluasan lubang sumur menstimulasi sumur secara efektif dan menghasilkan *skin* yang negatif dalam analisa aliran radial.

Seperti halnya dalam *internal gravel pack* aliran fluida produksi harus melewati gravel dan *screen* sebelum mencapai lubang sumur. Namun pola aliran fluida yang terjadi adalah tidak seperti dalam *external gravel pack* yang mengalami perubahan dari pola aliran radial menjadi linier di lubang perforasi. Secara umum EGP memberikan produktifitas sumur yang relatif lebih baik.



Gambar 2.3 External gravel pack

2.3.4 Perencanaan Gravel Pack

Ada beberapa faktor yang perlu dipertimbangkan di dalam perencanaan *gravel pack*, yaitu : (Oyeneyin,1998)

1. Ukuran *gravel pack* yang tersedia

Gravel pack tersedia dalam beberapa ukuran. Apabila ukuran *gravel* hasil perhitungan tidak tersedia, umumnya memakai ukuran yang lebih kecil. Kadang-kadang memakai ukuran yang lebih besar apabila ukuran yang lebih kecil tidak tersedia.

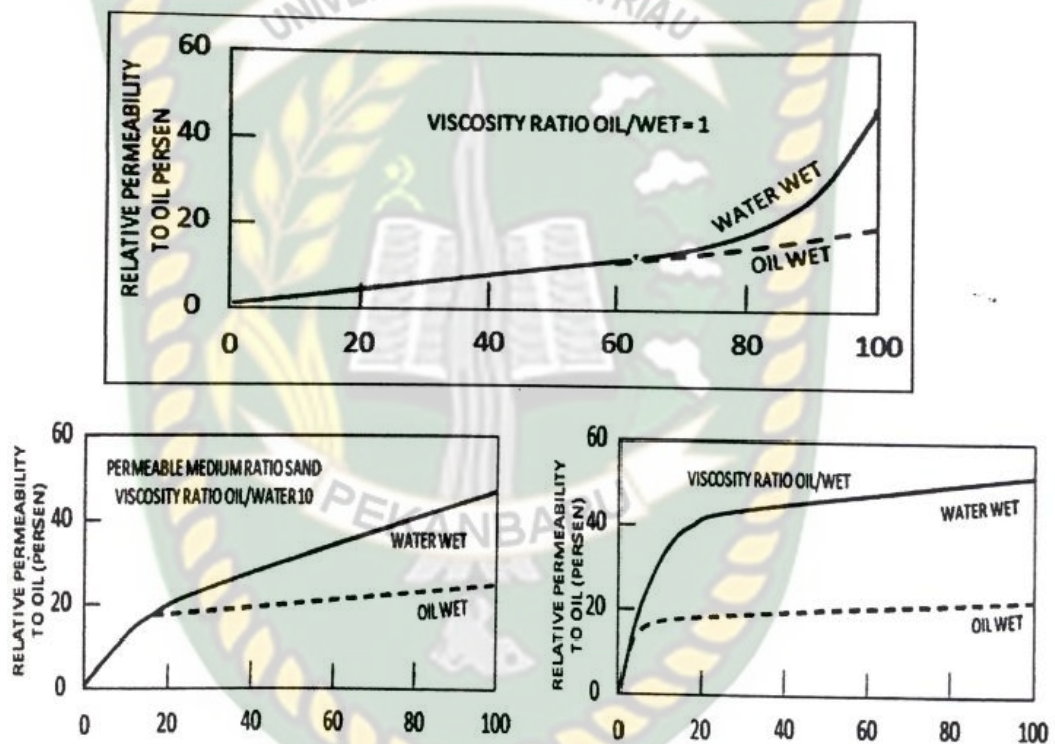
2. Angularitas dan Besar Butir *Gravel*

Permeabilitas dan kompaksi *gravel* dapat dipengaruhi oleh angularitas dan besar butir. Ahli mengemukakan angularitas secara relatif tidak begitu

mempengaruhi terhadap permeabilitas *gravel*. Akan tetapi ahli lain mengemukakan bahwa permeabilitas angular jauh lebih besar bila dibandingkan dengan permeabilitas yang bundar.

3. Kebasahan *Gravel*

Minyak kadang-kadang bersifat senyawa polar yang apabila diserap oleh permukaan *gravel*, menyebabkan *gravel* cenderung bersifat minyak basah (*oil wet*). Oleh karena itu, jika minyak digunakan sebagai fasa kontinu untuk fluida pembawa dalam penempatan *gravel*, material *gravel* sebaiknya dibasahi dulu dengan air sebelum diinjeksikan ke dalam sumur.



Gambar 2.4 Pengaruh kebasahan Gravel pada Permeabilitas Batuan terhadap Minyak

4. Pemilihan Gravel

Pemilihan *Gravel Pack* yang tepat sangat menentukan keberhasilan dalam menangani masalah kepasiran. Untuk itu perlu diketahui ukuran butiran dan distribusi penyebaran partikel pasir formasi.

Untuk menentukan ukuran pasir formasi maka perlu diadakan pengambilan sampel yang kemudian dianalisa dilaboratorium. Beberapa metoda pengambilan

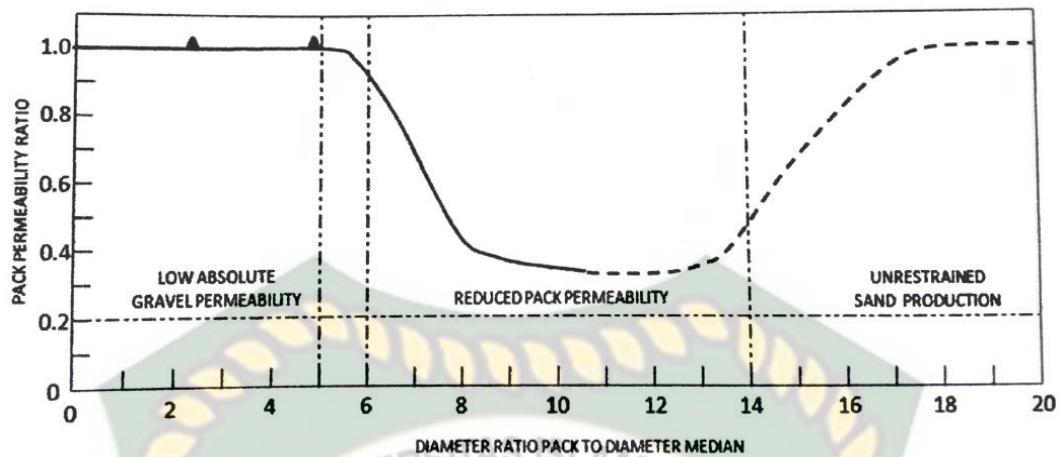
sampel pasir formasi, dengan tingkat kepercayaan dari yang tertinggi sampai yang terendah dapat diurutkan antara lain adalah:

- a. *Conventional core*
Didapat dari *rubber sleeve core barrel*, dan hasilnya cukup baik serta dapat dipercaya, karena mempunyai *recovery core* yang tinggi.
- b. *Sidewall core*
Didapat melalui *electrical wire line*, dan hasil yang diperoleh cukup dapat dipercaya, karena sampel dapat diambil di setiap kedalaman.
- c. *Balled sampling*
Dioperasikan melalui *conventional wireline* dan hasilnya kurang dapat dipercaya, karena keharusan mengangkat *drill pipe* dalam memperoleh *core*.
- d. *Produced sand*
Hasil yang diperoleh kurang dapat dipercaya, karena pasir formasi yang didapatkan hanya untuk berukuran kecil.

Perencanaan penentuan ukuran gravel yang tepat dan optimum dalam menahan pasir telah dikembangkan oleh beberapa ahli, antara lain Schwartz dan Saucier. Dalam desainnya, Schwartz berdasarkan keseragaman butiran formasi produktif sedangkan Saucier mendasarkan desainnya kepada konsep median ukuran butiran.

Kecenderungan ahli akhir-akhir ini untuk merekomendasikan gravel yang lebih kecil dengan tujuan untuk menahan invasi pasir lebih ketat. Gravel dengan ukuran lebih kecil telah sukses dan dipakai secara luas dilapangan Gulf Coast dan dijadikan bahan penyelidikan dimana-mana.

Saucier merupakan salah seorang ahli yang mempunyai kecenderungan untuk memasang gravel yang berukuran lebih kecil seperti diperlihatkan pada gambar di bawah sebagai hasil penyelidikannya, bahwa perbandingan ukuran gravel dan pasir formasi, maka pasir formasi itu akan mengalir secara bebas dan relatif tidak tertahan di dalam sistem *gravel pack*.



Gambar 2.5 Penurunan Permeabilitas Gravel karena Invasi Pasir

Penurunan permeabilitas *gravel pack* karena invasi pasir telah terjadi di daerah perbandingan ukuran gravel dan pasir 6 sampai 14. Saucier menganjurkan perbandingan itu antara 5 sampai 6 kali, dimana sistem gravel dapat menahan invasi pasir secara ketat. Sedangkan pada perbandingan yang lebih kecil, permeabilitas absolut sistem gravel yang rendah akan menimbulkan kesulitan aliran.

2.4 PERHITUNGAN VOLUME REVERSE OUT

Reverse out merupakan proses pemompaan KCL *water* dengan tujuan membersihkan *bore hole* dari sisa *cutting* dan *clay* agar proses pemompaan *gravel slurry* dapat berjalan lancar. (Kusuma, 2005)

Adapun perhitungan volume *reverse out* adalah sebagai berikut:

1. *Drill Pipe*

$$1.1 \text{ Volume faktor} = \frac{\pi}{4} (\text{Drill Pipe ID})^2 \dots\dots\dots (1)$$

$$1.2 \text{ Total Volume} = \text{Vol. faktor} \times \text{depth} \dots\dots\dots (2)$$

2. *Tubing stinger*

$$2.1 \text{ Volume faktor} = \frac{\pi}{4} (\text{Tubing Stinger ID})^2 \dots\dots\dots (3)$$

$$2.2 \text{ Total volume} = \text{Vol. faktor} \times \text{panjang tubing stinger} \dots\dots\dots (4)$$

3. *Liner - casing annulus*

$$3.1 \text{ Volume faktor} = \frac{\pi}{4} (\text{casing ID})^2 - \frac{\pi}{4} (\text{liner OD})^2 \dots\dots\dots (5)$$

$$3.2 \text{ Total volume} = \text{Vol. faktor} \times \text{panjang annulus} \dots\dots\dots (6)$$

4. *Liner - open hole annulus*

$$4.1 \text{ Volume faktor} = \frac{\pi}{4} (\text{OH diameter})^2 - \frac{\pi}{4} (\text{liner OD})^2 \dots\dots\dots (7)$$

$$4.2 \text{ Total volume} = \text{Vol. faktor} \times \text{panjang annulus} \\ (\text{End of Tbg Singer} - \text{casing shoe}) \dots\dots\dots (8)$$

5. *Tubing stinger - liner annulus*

$$5.1 \text{ Volume faktor} = \frac{\pi}{4} (\text{liner ID})^2 - \frac{\pi}{4} (\text{tubing stinger OD})^2 \dots\dots\dots (9)$$

$$5.2 \text{ Total volume} = \text{Vol. faktor} \times \text{panjang annulus} \\ (\text{End of Tbg stinger} - \text{TBA}) \dots\dots\dots (10)$$

6. *Drill pipe - casing annulus*

$$6.1 \text{ Volume faktor} = \frac{\pi}{4} (\text{casing ID})^2 - \frac{\pi}{4} (\text{Drill pipe OD})^2 \dots\dots\dots (11)$$

$$6.2 \text{ Total volume} = \text{Vol. faktor} \times \text{panjang annulus (TBA)} \dots\dots\dots (12)$$

Setelah volume dari setiap annulus didapatkan, jumlahkan semua volume dari setiap annulus hingga didapatkan hasil dari jumlah volume *reverse out* untuk disirkulasikan ke *bore hole*.

2.5 PERHITUNGAN VOLUME GRAVEL SLURRY

Untuk menentukan volume *gravel slurry* yang akan di pompakan, maka perlu melakukan perhitungan volume *gravel sand*, *water*, dan KCL.

Untuk menentukan volume *gravel sand*, lakukan perhitungan sebagai berikut : (Kusuma,2005)

1. *Volume open hole – liner*

$$1.1 \text{ Volume faktor} = \frac{\pi}{4} (\text{OH diameter})^2 - \frac{\pi}{4} (\text{liner OD})^2 \dots\dots\dots (13)$$

$$1.2 \text{ Total volume} = \text{Vol. faktor} \times \text{panjang annulus} \\ (\text{End of tbg Stinger} - \text{casing shoe}) \dots\dots\dots (14)$$

2. *Volume casing – liner*

$$2.1 \text{ Volume faktor} = \frac{\pi}{4} (\text{casing ID})^2 - \frac{\pi}{4} (\text{liner OD})^2 \dots\dots\dots (15)$$

$$2.2 \text{ Total volume} = \text{Vol. faktor} \times \text{panjang annulus} \dots\dots\dots (16)$$

Jumlahkan volume *open hole – liner* dengan volume *casing – liner*. Dari hasil yang didapatkan konversi satuan cuft sebagai hasil yang didapat ke *sack*.

Maka jumlah *gravel sand* yang akan digunakan dapat diketahui.

Untuk memompakan *gravel sand* ke *annulus open hole*, maka *gravel sand* di *mixing* terlebih dahulu dengan KCL dan air. Hasil percampuran dari *gravel sand*, air, dan KCL inilah yang dinamakan *gravel slurry*. Adapun perhitungan untuk volume air dan KCL adalah sebagai berikut:

$$2.3 \text{ Volume air} = \frac{\text{jumlah gravel sand}}{\frac{1 \frac{\text{lb}}{\text{gal}} \times 42 \frac{\text{gal}}{\text{bbl}}}} \dots \dots \dots (17)$$

$$2.4 \text{ Volume KCL} = \rho_{\text{KCL}} \frac{\text{lb}}{\text{gal}} \times 0,02 \times 42 \frac{\text{lb}}{\text{gal}} \times v. \text{ air} \dots \dots \dots (18)$$

2.6 METODE PEMOMPAAN GRAVEL SLURRY

Terdapat 3 (tiga) jenis metoda untuk proses pemompaan larutan pasir (*gravel sand slurry*) kedalam sumur, yaitu: (Kusuma,2005)

1. *Wash Dow Method*

Metoda ini merupakan metoda dimana jumlah larutan *gravel* yang akan dipompakan melewati rangkaian, kemudian dilalui liner dan keluar diujung liner, lalu kembali keatas permukaan melalui annulus. Setelah itu rangkaian liner diangkat sampai kedalaman yang telah ditentukan dan pasir *gravel* yang sudah dipompakan tadi dibiarkan saja beberapa saat agar dapat mengendap (*settling*) didalam sumur. Lalu rangkaian liner diturunkan kembali sambil dengan dilakukan *washing down* sampai mencapai kedalaman yang diinginkan. Dengan demikian diharapkan hasil dari pemompaan pasir *gravel* akan menutup ruangan annulus antara formasi dan dinding luar dari liner.

2. *Reverse Circulation Method*

Metoda ini merupakan metoda dari larutan pasir *gravel* yang juga dipompakan melalui rangkaian dan kembali keluar ke annulus melalui *Gravel Packing Tool* (GPT) yang telah diset antara rangkaian liner dan rangkaian kerja. Larutan pasir *gravel* ini akan terus turun di annulus dan pasirnya akan tersaring oleh *screen liner*, sementara bahan pengaduk dasarnya (misal: KCL-Water) akan keluar melalui rangkaian liner kemudian diarahkan oleh *Gravel Packing Tool* tadi keluar ke annulus antara rangkaian kerja dan *casing*. *Gravel Packing Tool* (GPT) yang diset pada metoda sirkulasi terbalik ini dibuat khusus agar bisa mengarahkan larutan pasir

gravel dari rangkaian kerja ke annulus antara formasi dan liner dan juga dari rangkaian liner ke annulus antara *casing* dan rangkaian kerja.

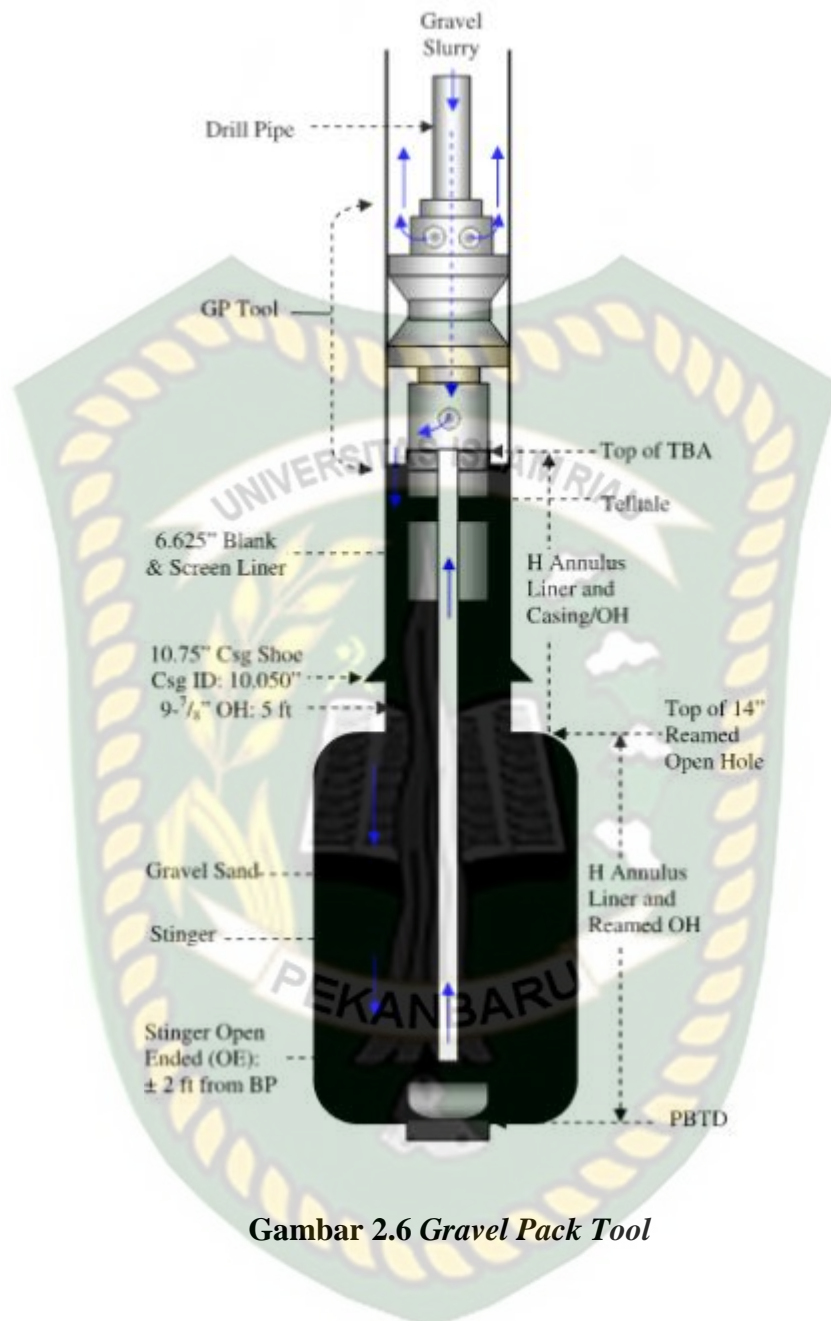
3. *Crossover Method*

Metode *crossover* ini bisa dibilang hampir menyerupai metode *reverse circulation*. Hanya saja, metoda *reverse circulation* tidak memakai *Gravel Packing Tool* (GPT) seperti pada metoda yang kedua diatas, *Gravel Packing Tool* yang digunakan pada metoda ini ialah *packer* dan *crossover*. Metoda ini jarang digunakan dilapangan karena sering sekali *packer* yang digunakan akan mengalami gangguan saat dicabut akibat terjadinya jepitan karena pasir yang telah dipompakan.

2.7 PROSEDUR PEMOMPAAN GRAVEL SLURRY

Sebelum melakukan pemompaan *Gravel Slurry* di sumur pada lapangan XY, ada beberapa prosedur pekerjaan yang harus dilakukan, yaitu mengikuti urutan-urutan sebagai berikut : (Kusuma,2005)

1. Perbesar lubang sumur bagian *Open Hole* dengan menggunakan *Under Reamer* yang terhubung dengan DC hingga mencapai kedalam yang sudah ditentukan.
2. Bersihkan lubang sumur dari *cutting* dengan melakukan *circulation* melalui *string*. Jika sudah bersih cabut rangkaian *string*.
3. Masukkan *screen liner* kedalam lubang sumur. Pastikan liner tidak ada yang rusak. Rangkaian liner yang di *run* kedalam sumur juga dikombinasikan dengan *blank liner* atau *blank casing* yang bertujuan untuk mengisolasi zona yang tidak diinginkan.
4. Masukkan tubing dengan ukuran 3-1/2" atau 2-3/8" OD kedalam liner sampai +/- 5 feet diatas *Bull Plug*.
5. Sambungkan secara berurutan mulai dari *bull plug*, *screen liner*, *blank casing*, *Top Bottom Assambly* (TBA), *Gravel Pack Tool* (GP-Tool) dan rangkaian pengantar.



Gambar 2.6 Gravel Pack Tool

Setelah semua persiapan di atas selesai, selanjutnya akan dilakukan pekerjaan *Gravel Pack* dimana *Gravel Slurry* akan dipompakan.

Prosedur (SOP) yang digunakan untuk memompakan *gravel slurry* pada sumur lapangan XY mengikuti urutan sebagai berikut :

1. Lakukan *Pre Job Meeting* dengan semua *crew* yang terlibat dalam pekerjaan guna membahas tentang keselamatan kerja dan *potential hazard*.

2. Set semua unit yang diperlukan, seperti *pump truck*, *fract tank*, *water tank* dan *sand truck*. Kemudian *rig up* semua *line* dan *hose* yang akan digunakan baik ke *string* yang ada di *rig floor* maupun ke bagian annulus.
3. Lakukan *pressure test line* pada line atau pipa untuk memastikan tidak ada kebocoran. Tekanan yang diberikan adalah tidak kurang dari 1500 psi. *Hold* atau tahan *pressure* tersebut selama 10 menit.
4. Bersihkan lubang sumur baik annulus maupun *string* dari *cutting* yang tersisa maupun dari *clay*. Metode yang digunakan adalah *Reverse Out*, dimana 2 % KCL *water* dipompakan lewat annulus dan keluar melalui *string* sebanyak minimal 1,5 kali *volume bore hole*, atau pastikan fluida yang kembali sudah bersih.
5. Ubah arah aliran dengan menggunakan *manifold* ke *work string* dan pompakan 2% KCL *water* 10 barrel. Fluida yang kembali melalui annulus akan masuk ke *Central Liquid Additive Mixing (CLAM)* atau dibuang ke Pit.
6. Pompakan *gravel slurry* dengan 2 hingga 3 barrel per menit (bpm) dan berat *slurry (density)* berkisar 9 hingga 9,5 *pound per gallon (ppg)*.
7. Lanjutkan pemompaan hingga didapatkan tekanan 400 atau 500 psi (*pack pressure*).
8. Jika sudah didapatkan *pressure* 500 psi, stop pemompaan dan bersihkan *string* dari sisa pasir.
9. Pompakan kembali 2% KCL *water* melalui *work string* untuk melakukan *test packing* pada pasir yang ada di annulus dengan tekanan maksimum 500 psi dan *rate* 0,6 hingga 1,5 bpm.
10. Lepaskan rangkaian GP *tool* dan lakukan pemompaan 2% KCL *water* untuk sirkulasi. Hal ini bertujuan untuk membersihkan bagian dalam liner dari pasir yang masuk (jika ada). Volume minimum untuk sirkulasi adalah 1 kali volume hole.
11. Cabut semua rangkaian dan pekerjaan *Gravel Pack* selesai dilakukan.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 JENIS METODE PENELITIAN

Adapun jenis metode yang digunakan oleh Peneliti dalam penelitian ini adalah studi lapangan (case study) dengan mengumpulkan data-data dari sejarah lapangan, kondisi sumur, dan data-data langsung dari sumur yang menggunakan *Gravel Pack* pada sumur loss sirkulasi di lapangan XY. Metode yang umum digunakan untuk penanggulangan *problem lost circulation* yaitu Metode *gravel pack*, metoda ini dilakukan dengan tujuan untuk menghentikan pergerakan pasir formasi. (Kusuma, 2005)

Pada penelitian ini, dilakukan perhitungan jumlah *gravel sand* yang akan dipompakan dan jumlah *gravel sand* yang hilang serta keberhasilan penanggulangan dengan metode *gravel pack*. Adapun hal-hal yang harus kita perhatikan sebelum melakukan kegiatan *Gravel Pack Job* salah satunya adalah aspek-aspek keselamatan, diantaranya sebagai berikut :

1. Memastikan sambungan-sambungan pipa/selang saluran sudah terkunci dengan baik serta tali pengamannya sudah terpasang.
2. Menempatkan manifold pada tempat yang tidak akan sering dilalui/dilewati oleh crew selama pekerjaan *Gravel Pack* berlangsung.
3. Memperhatikan semua crew yang terlibat dalam pekerjaan ini sudah menggunakan PPE yang dianjurkan.
4. Memastikan saluran buangan sirkulasi bisa diarahkan dengan baik dan disposal pit sanggup menampungnya.
5. Memastikan semua peralatan yang diperlukan untuk pekerjaan *Gravel Pack* ini sudah tersedia dan dalam kondisi yang baik.
6. Meyakinkan semua crew yang terlibat sudah mengerti akan proses dan prosedur kerja dan apakah pekerjaan sudah bisa dilakukan.
7. Melakukan do'a bersama sesuai dengan agama dan keyakinan masing-masing agar terhindar dari hal-hal yang tidak diharapkan didalam melaksanakan pekerjaan.

3.2 SEJARAH LAPANGAN XY

Lapangan XY adalah salah satu lapangan minyak yang dikelola oleh BOB PT. BSP – Pertamina Hulu dengan sistem bagi hasil (*Production Sharing Contract*) dengan pemerintah Indonesia. Lapangan ini merupakan salah satu aset lapangan didalam blok milik BOB PT. BSP – Pertamina Hulu. Secara geografis terletak di Kabupaten Siak Sri Indrapura, Provinsi Riau.

Dulunya lapangan ini dikelola oleh PT. Caltex Pacific Indonesia (2002). Lapangan ini termasuk bagian kedalam Blok Cekungan Sumatera Tengah. Lapangan ini ditemukan pada tahun 1978 yang mempunyai 10 formasi seluas 1101 *acre*. Lapangan XY diproduksi dimulai tahun 1984 dan memiliki 13 sumur produksi.

Produksi lapangan XY semuanya berasal dari lapisan formasi BK Sand dengan kedalaman berkisar antara 5800 sampai 6400 *ft*. Sejak pertama ditemukan hingga sekarang jumlah sumur yang sudah dibor mencapai 95 sumur, dengan 41 sumur aktif yang menghasilkan minyak sebesar 46838 *Mbo* dan 54 sumur yang sudah tidak aktif.

Lapangan XY memiliki total produksi fluida 55.072 BFPD (2015) dimana jumlah air yang terproduksinya mencapai 48.075 BWPD. Sekarang jumlah air yang terproduksi telah mencapai 55.628 BWPD. Air yang terproduksi ini sebagian diinjeksikan ke sumur-sumur injeksi guna meningkatkan produksi minyak, sebagiannya lagi dibuang ke sumur disposal. Untuk mengatasi meningkatnya jumlah air pada sumur produksi dilakukan beberapa metode diantaranya dengan menggunakan metode chemical dan melakukan reperforasi. Pompa yang digunakan untuk sumur produksi adalah *Electrical Submersible Pump (ESP)* (25 sumur), *Progressive Cavity Pump (PCP)* (30 sumur), dan *Sucker Rod Pump (SRP)* (40 sumur). Lapangan XY ini mengandung pasir yang dapat merusak pompa (SRP), karena itu lebih banyak menggunakan PCP dan ESP.

3.3 KONDISI GEOLOGI LAPANGAN XY

Dari sejarah Geologi dan struktur bumi lapangan minyak XY berada pada cekungan Sumatera Tengah. Disebelah barat daya cekungan tidak simetris dibatasi oleh sesar serta singkapan batuan pra-tersier yang terangkat sepanjang

kaki Bukit Barisan. Disebelah timur laut dibatasi oleh ketinggian lempung dan suatu dataran tinggi yang terletak sejajar dengan pantai timur Sumatera sedangkan sebelah utara dan barat laut dibatasi oleh ketinggian Asahan, disebelah barat laut Pekanbaru cekungan ini dibatasi oleh batuan pra – tersier.

3.4 KARAKTERISTIK LAPANGAN XY

Secara umum perangkap minyak bumi (*reservoir map*) pada lapangan minyak XY merupakan kombinasi antara lipatan dan patahan (*anticlin dan fault*) sedangkan tenaga pendorong alamiah reservoirnya adalah air (*strong water drive*). Reservoir lapangan XY termasuk kedalam Formasi Bekasap pada 350 sand, 550 sand dan 700 sand yang terjebak pada perangkap antiklin atau patahan.

3.5 LINGKUNGAN PENGENDAPAN

Analisa lingkungan pengendapan sangat penting untuk diketahui dalam menentukan karakteristik reservoir karena berhubungan dengan distribusi, kekontinyuan, dan heterogenitas batuan reservoir.

Lapangan XY merupakan reservoir batu pasir hasil pengendapan delta yang terdiri dari *channel* dan *bar*. Lingkungan pengendapan delta adalah hasil pengendapan yang terjadi dimana sungai menyalurkan bahan-bahan sedimennya ke dalam suatu wadah air yang besar, biasanya di danau.

3.6 PERHITUNGAN VOLUME REVERSE OUT

Reverse out merupakan proses pemompaan KCL *water* dengan tujuan membersihkan *bore hole* dari sisa *cutting* dan *clay* agar proses pemompaan *gravel slurry* dapat berjalan lancar. (Kusuma, 2005)

Adapun perhitungan volume *reverse out* adalah sebagai berikut:

1. *Drill Pipe*

$$1.1 \text{ Volume faktor} = \frac{\pi}{4} (\text{Drill Pipe ID})^2 \dots\dots\dots (1)$$

$$1.2 \text{ Total Volume} = \text{Vol. faktor} \times \text{depth} \dots\dots\dots (2)$$

2. *Tubing stinger*

$$2.1 \text{ Volume faktor} = \frac{\pi}{4} (\text{Tubing Stinger ID})^2 \dots\dots\dots (3)$$

$$2.2 \text{ Total volume} = \text{Vol. faktor} \times \text{panjang tubing stinger} \dots\dots\dots (4)$$

3. *Liner - casing annulus*

$$3.1 \text{ Volume faktor} = \frac{\pi}{4} (\text{casing ID})^2 - \frac{\pi}{4} (\text{liner OD})^2 \dots\dots\dots (5)$$

$$3.2 \text{ Total volume} = \text{Vol. faktor} \times \text{panjang annulus} \dots\dots\dots (6)$$

4. *Liner - open hole annulus*

$$4.1 \text{ Volume faktor} = \frac{\pi}{4}(\text{OH diameter})^2 - \frac{\pi}{4}(\text{liner OD})^2 \dots\dots\dots (7)$$

$$4.2 \text{ Total volume} = \text{Vol. faktor} \times \text{panjang annulus} \\ (\text{End of Tbg Singer} - \text{casing shoe}) \dots\dots\dots (8)$$

5. *Tubing stinger - liner annulus*

$$5.1 \text{ Volume faktor} = \frac{\pi}{4}(\text{liner ID})^2 - \frac{\pi}{4}(\text{tubing stinger OD})^2 \dots\dots\dots (9)$$

$$5.2 \text{ Total volume} = \text{Vol. faktor} \times \text{panjang annulus} \\ (\text{End of Tbg stinger} - \text{TBA}) \dots\dots\dots (10)$$

6. *Drill pipe - casing annulus*

$$6.1 \text{ Volume faktor} = \frac{\pi}{4}(\text{casing ID})^2 - \frac{\pi}{4}(\text{Drill pipe OD})^2 \dots\dots\dots (11)$$

$$6.2 \text{ Total volume} = \text{Vol. faktor} \times \text{panjang annulus (TBA)} \dots\dots\dots (12)$$

Setelah volume dari setiap annulus didapatkan, jumlahkan semua volume dari setiap annulus hingga didapatkan hasil dari jumlah volume *reverse out* untuk disirkulasikan ke *bore hole*.

3.7 PERHITUNGAN VOLUME GRAVEL SLURRY

Untuk menentukan volume *gravel slurry* yang akan di pompakan, maka perlu melakukan perhitungan volume *gravel sand*, *water*, dan KCL.

Untuk menentukan volume *gravel sand*, lakukan perhitungan sebagai berikut : (Kusuma,2005)

1. *Volume open hole – liner*

$$1.1 \text{ Volume faktor} = \frac{\pi}{4}(\text{OH diameter})^2 - \frac{\pi}{4}(\text{liner OD})^2 \dots\dots\dots (13)$$

$$1.2 \text{ Total volume} = \text{Vol. faktor} \times \text{panjang annulus} \\ (\text{End of tbg Stinger} - \text{casing shoe}) \dots\dots\dots (14)$$

2. *Volume casing – liner*

$$2.1 \text{ Volume faktor} = \frac{\pi}{4}(\text{casing ID})^2 - \frac{\pi}{4}(\text{liner OD})^2 \dots\dots\dots (15)$$

$$2.2 \text{ Total volume} = \text{Vol. faktor} \times \text{panjang annulus} \dots\dots\dots (16)$$

Jumlahkan volume *open hole – liner* dengan volume *casing – liner*. Dari hasil yang didapatkan konversi satuan cuft sebagai hasil yang didapat ke *sack*. Maka jumlah *gravel sand* yang akan digunakan dapat diketahui.

Untuk memompakan *gravel sand* ke annulus *open hole*, maka *gravel sand* di *mixing* terlebih dahulu dengan KCL dan air. Hasil percampuran dari *gravel sand*, air, dan KCL inilah yang dinamakan *gravel slurry*. Adapun perhitungan untuk volume air dan KCL adalah sebagai berikut:

$$2.3 \text{ Volume air} = \frac{\text{jumlah gravel sand}}{\frac{1 \text{ lb}}{\text{gal}} \times 42 \frac{\text{gal}}{\text{bbt}}} \dots\dots\dots (17)$$

$$2.4 \text{ Volume KCL} = \rho_{\text{KCL}} \text{ lb/gal} \times 0,02 \times 42 \text{ lb/gal} \times v. \text{ air} \dots\dots\dots (18)$$

3.8 WAKTU PENELITIAN

Agar pelaksanaan Tugas Akhir ini dapat berjalan optimal dan berdaya guna, maka pelaksanaannya disesuaikan dengan kondisi dan jadwal yang telah diatur oleh BOB PT. BSP – Pertamina Hulu.

3.9 TEMPAT PENELITIAN

Tempat pelaksanaan Tugas akhir adalah kawasan BOB PT. BSP – Pertamina Hulu, yang disesuaikan dengan materi yang akan diperoleh nantinya.

3.10 RENCANA PELAKSANAAN TUGAS AKHIR

	Kegiatan	Weekly Schedule			
		1	2	3	4
1	Studi Literatur				
2	Karakteristik reservoir				
3	Pelaksanaan proses <i>input</i> data sejarah pemboran.				
4	Analisa pengolahan data				
5	Pembahasan dan Kesimpulan				
6	Presentasi				

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini penulis akan melakukan perhitungan yang berkaitan dengan pemompaan *gravel slurry* pada sumur dilapangan XY untuk mengatasi masalah kepasiran dan juga menganalisa masalah yang terjadi pada saat memompakan *gravel slurry* ke *annulus open hole*. Perhitungan dan analisa pada bab ini merupakan kondisi sebenarnya (*real*) dari pekerjaan *gravel pack* di lapangan.

4.1 Perhitungan Reverse Out Volume

Untuk mengetahui nilai dari *reverse out volume* diperlukan data-data sebagai berikut :

- | | |
|---|-------------------------|
| a. <i>Drill pipe ID</i> | : 3,000 inch |
| b. <i>Tubing Stinger ID</i> | : 2,900 inch |
| c. <i>Tubing Stinger OD</i> | : 3,500 inch |
| d. <i>Casing ID</i> | : 10,050 inch |
| e. <i>Liner ID</i> | : 6,049 inch |
| f. <i>Liner OD</i> | : 6,625 inch |
| g. <i>Open Hole diameter</i> | : 11,750 inch |
| h. Panjang <i>Drill pipe</i> | : 475 ft |
| i. Panjang <i>Tubing Stinger (End of Tbg Stinger – TBA)</i> | : 718ft – 475ft = 243ft |
| j. Panjang annulus (<i>Casing Shoe – TBA</i>) | : 556ft – 475ft = 81ft |
| k. Panjang annulus (<i>End of Tbg. Stinger – Casing Shoe</i>) | : 718ft – 556ft = 162ft |
| l. Panjang annulus (TBA) | : 475 ft |

Berikut adalah perhitungan volume dari setiap annulus yang akan dilakukan *reverse out* sehingga nantinya dapat diketahui fluida yang akan dibutuhkan untuk melakukan *reverse out* sehingga *bore hole* benar-benar bersih.

a. *Drill Pipe*

$$1) \text{ Volume faktor} = \frac{\pi}{4} (\text{Drill Pipe ID})^2$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{3,14}{4} (3,000 \text{ inch})^2 \\
 &= 7,065 \text{ inch}^2 \\
 &= 7,065 \text{ inch}^2 \times \frac{1 \text{ ft}^2}{144 \text{ inch}^2} = 0,0490625 \text{ ft}^2 \\
 &= 0,04909 \text{ ft}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{2) Total Volume} &= \text{Vol. faktor} \times \text{depth} \\
 &= 0,04909 \text{ ft}^2 \times 475 \text{ ft} \\
 &= 23,3 \text{ cuft} \\
 &= 23,3 \text{ cuft} \times \frac{0,1781 \text{ bbl}}{1 \text{ cuft}} = 4,14973 \text{ bbl}
 \end{aligned}$$

b. *Tubing Stinger*

$$\begin{aligned}
 \text{1) Volume faktor} &= \frac{\pi}{4} (\text{Tubing Stinger ID})^2 \\
 &= \frac{3,14}{4} (2,900 \text{ inch})^2 \\
 &= 6,60185 \text{ inch}^2 \\
 &= 6,60185 \text{ inch}^2 \times \frac{1 \text{ ft}^2}{144 \text{ inch}^2} = 0,04584618 \text{ ft}^2 \\
 &= 0,04587 \text{ ft}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{2) Total Volume} &= \text{Vol. faktor} \times \text{panjang tubing stinger} \\
 &= 0,04587 \text{ ft}^2 \times (718 \text{ ft} - 475 \text{ ft}) \\
 &= 11,14641 \text{ cuft} \\
 &= 11,14641 \text{ cuft} \times \frac{0,1781 \text{ bbl}}{1 \text{ cuft}} = 1,98518 \text{ bbl}
 \end{aligned}$$

c. *Liner – Casing Annulus*

$$\begin{aligned}
 \text{1) Volume faktor} &= \frac{\pi}{4} (\text{Casing ID})^2 - \frac{\pi}{4} (\text{Liner OD})^2 \\
 &= \frac{3,14}{4} (10,050 \text{ inch})^2 - \frac{3,14}{4} (6,625 \text{ inch})^2 \\
 &= 79,28696 \text{ inch}^2 - 34,45414 \text{ inch}^2 \\
 &= 44,83282 \text{ inch}^2 \\
 &= 44,83282 \text{ inch}^2 \times \frac{1 \text{ ft}^2}{144 \text{ inch}^2} = 0,31133902 \text{ ft}^2 \\
 &= 0,31150 \text{ ft}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{2) Total Volume} &= \text{Vol. faktor} \times \text{panjang annulus} \\
 &= 0,31150 \text{ ft}^2 \times (556 \text{ ft} - 475 \text{ ft}) \\
 &= 25,2315 \text{ cuft}
 \end{aligned}$$

$$= 25,2315 \text{ cuft} \times \frac{0,1781 \text{ bbl}}{1 \text{ cuft}} = 4,49373 \text{ bbl}$$

d. *Liner – Open Hole Annulus*

$$\begin{aligned} 1) \text{ Volume faktor} &= \frac{\pi}{4} (\text{OH diameter})^2 - \frac{\pi}{4} (\text{Liner OD})^2 \\ &= \frac{3,14}{4} (11,750 \text{ inch})^2 - \frac{3,14}{4} (6,625 \text{ inch})^2 \\ &= 108,37906 \text{ inch}^2 - 34,45414 \text{ inch}^2 \\ &= 73,92492 \text{ inch}^2 \\ &= 73,92492 \text{ inch}^2 \times \frac{1 \text{ ft}^2}{144 \text{ inch}^2} = 0,51336675 \text{ ft}^2 \\ &= 0,51363 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2) \text{ Total Volume} &= \text{Vol. faktor} \times \text{panjang annulus} \\ &(\text{End of tbg Stinger} - \text{casing shoe}) \\ &= 0,51363 \text{ ft}^2 \times (718 \text{ ft} - 556 \text{ ft}) \\ &= 83,20806 \text{ cuft} \\ &= 83,20806 \text{ cuft} \times \frac{0,1781 \text{ bbl}}{1 \text{ cuft}} = 14,81936 \text{ bbl} \end{aligned}$$

e. *Tubing Stinger – Liner Annulus*

$$\begin{aligned} 1) \text{ Volume faktor} &= \frac{\pi}{4} (\text{Liner ID})^2 - \frac{\pi}{4} (\text{Tubing stinger OD})^2 \\ &= \frac{3,14}{4} (6,049 \text{ inch})^2 - \frac{3,14}{4} (3,500 \text{ inch})^2 \\ &= 28,72346 \text{ inch}^2 - 9,61625 \text{ inch}^2 \\ &= 19,10721 \text{ inch}^2 \\ &= 19,10721 \text{ inch}^2 \times \frac{1 \text{ ft}^2}{144 \text{ inch}^2} = 0,1326889 \text{ ft}^2 \\ &= 0,13276 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2) \text{ Total Volume} &= \text{Vol. faktor} \times \text{panjang annulus} \\ &(\text{End of Tbg Stinger} - \text{TBA}) \\ &= 0,13276 \text{ ft}^2 \times (718 \text{ ft} - 475 \text{ ft}) \\ &= 32,26068 \text{ cuft} \\ &= 32,26068 \text{ cuft} \times \frac{0,1781 \text{ bbl}}{1 \text{ cuft}} = 5,74563 \text{ bbl} \end{aligned}$$

f. *Drill pipe – Casing Annulus*

$$\begin{aligned} 1) \text{ Volume faktor} &= \frac{\pi}{4} (\text{casing ID})^2 - \frac{\pi}{4} (\text{Drill pipe OD})^2 \\ &= \frac{3,14}{4} (10,050 \text{ inch})^2 - \frac{3,14}{4} (3,500 \text{ inch})^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 79,28696 \text{ inch}^2 - 9,61625 \text{ inch}^2 \\
 &= 69,67071 \text{ inch}^2 \\
 &= 69,67071 \text{ inch}^2 \times \frac{1 \text{ ft}^2}{144 \text{ inch}^2} = 0,4838243 \text{ ft}^2 \\
 &= 0,48407 \text{ ft}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 2) \text{ Total volume} &= \text{Vol. faktor} \times \text{panjang annulus (TBA)} \\
 &= 0,48407 \text{ ft}^2 \times 475 \text{ ft} \\
 &= 229,9332 \text{ cuft} \\
 &= 229,9332 \text{ cuft} \times \frac{0,1781 \text{ bbl}}{1 \text{ cuft}} = 40,9511 \text{ bbl}
 \end{aligned}$$

Setelah didapatkan nilai dari *total volume annulus* dari semua bagian, kita dapat memperhitungkan nilai dari *reverse out volume* sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{Reverse out vol.} &= \text{total vol. (DP)} + \text{total vol. (Tbg Stinger)} + \\
 &\text{total vol (liner - casing)} + \\
 &\text{total vol. (liner - OH)} + \\
 &\text{total vol. (Tbg stinger - liner)} + \\
 &\text{total vol. (DP - casing)} \\
 &= 4,14973 \text{ bbl} + 1,98518 \text{ bbl} + 4,49373 + \\
 &14,81936 \text{ bbl} + 5,74565 \text{ bbl} + 40,9511 \text{ bbl} \\
 &= 72,14473 \text{ bbl} = 73 \text{ bbl}
 \end{aligned}$$

Pada kondisi lapangan *volume reverse out* harus memiliki dua kali lebih banyak dari jumlah perhitungan yang telah dilakukan. Hal ini bertujuan agar didapatkan hasil maksimal dari *reverse out*.

$$\begin{aligned}
 \text{Reverse out vol} &= 73 \text{ bbl} \times 2 \\
 &= 146 \text{ bbl}
 \end{aligned}$$

Jadi jumlah volume fluida 2% KCL water yang didapatkan pada perhitungan theoretical adalah sebanyak 146 bbl.

4.2 Perhitungan Gravel Sand Yang Digunakan

Untuk menentukan jumlah *gravel sand* yang akan dipompakan ke sumur dilapangan XY, diperlukan perhitungan agar jumlah *gravel sand*. Untuk perhitungan jumlah *gravel sand* ini dibutuhkan data sebagai berikut:

- a. *Open Hole diameter* :11,750 inch
- b. *Liner OD* :6,625 inch
- c. *Casing ID* :10,050 inch
- d. Panjang annulus (PBTB–*Casing shoe*) :720 ft – 556 ft
:164 ft
- e. Panjang annulus (*casing shoe* – TBA) :556 ft – 475 ft
:81 ft
- f. Densitas fluida dasar :8,43 ppg
- g. Densitas *sand slurry* :9,0 – 9,5

Perhitungan volume annulus yang akan ditempati *gravel sand* harus terlebih dahulu dilakukan.

a. *Volume Open Hole – Liner*

$$\begin{aligned}
 1) \text{ Volume faktor} &= \frac{\pi}{4} (OH \text{ diameter})^2 - \frac{\pi}{4} (Liner OD)^2 \\
 &= \frac{3,14}{4} (11,750 \text{ inch})^2 - \frac{3,14}{4} (6,625 \text{ inch})^2 \\
 &= 108,37906 \text{ inch}^2 - 34,45414 \text{ inch}^2 \\
 &= 73,92492 \text{ inch}^2 \\
 &= 73,92492 \text{ inch}^2 \times \frac{1 \text{ ft}^2}{144 \text{ inch}^2} = 0,5133675 \text{ ft}^2 \\
 &= 0,51363 \text{ ft}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 2) \text{ Total volume} &= \text{Vol. faktor} \times \text{panjang annulus} \\
 &= \text{End of tbg Stinger} - \text{casing shoe} \\
 &= 0,51363 \text{ ft}^2 \times (718 \text{ ft} - 556 \text{ ft}) \\
 &= 83,20806 \text{ cuft} \\
 &= 83,20806 \text{ cuft} \times \frac{0,1781 \text{ bbl}}{1 \text{ cuft}} = 14,81936 \text{ bbl}
 \end{aligned}$$

b. *Volume Casing – Liner*

$$\begin{aligned}
 1) \text{ Volume faktor} &= \frac{\pi}{4} (casing ID)^2 - \frac{\pi}{4} (Liner OD)^2 \\
 &= \frac{3,14}{4} (10,050 \text{ inch})^2 - \frac{3,14}{4} (6,625 \text{ inch})^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 79,28696 \text{ inch}^2 - 34,45414 \text{ inch}^2 \\
 &= 44,83282 \text{ inch}^2 \\
 &= 44,83282 \text{ inch}^2 \times \frac{1 \text{ ft}^2}{144 \text{ inch}^2} = 0,311339027 \text{ ft}^2 \\
 &= 0,31150 \text{ ft}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{2) Total volume} &= \text{Vol. faktor} \times \text{panjang annulus} \\
 &= 0,31150 \text{ ft}^2 \times (556 \text{ ft} - 475 \text{ ft}) \\
 &= 25,2315 \text{ cuft} \\
 &= 25,2315 \text{ cuft} \times \frac{0,1781 \text{ bbl}}{1 \text{ cuft}} = 4,49373 \text{ bbl}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{c. Total Volume Annulus} &= 84,1976 \text{ cuft} + 25,2 \text{ cuft} \\
 &= 109,39 \text{ cuft} \\
 &= 109 \text{ sack}
 \end{aligned}$$

Jadi, banyaknya jumlah pasir yang digunakan untuk *Gravel Pack Job* adalah sebanyak 109 sack.

d. Jumlah Air yang digunakan

$$\text{Air} = \frac{10900 \text{ lb}}{1 \frac{\text{lb}}{\text{gal}} \times 42 \frac{\text{gal}}{\text{bbl}}} = 259,5 \text{ bbl}$$

Jadi, air yang digunakan adalah sebanyak 259,5 bbl.

e. KCL yang digunakan

$$\begin{aligned}
 \text{KCL} &= 8,43 \text{ lb/gal} \times 0,02 \times 42 \text{ gal/bbl} \times 259 \text{ bbl} \\
 &= 1834 \text{ lb} \\
 &= 18 \text{ sack}
 \end{aligned}$$

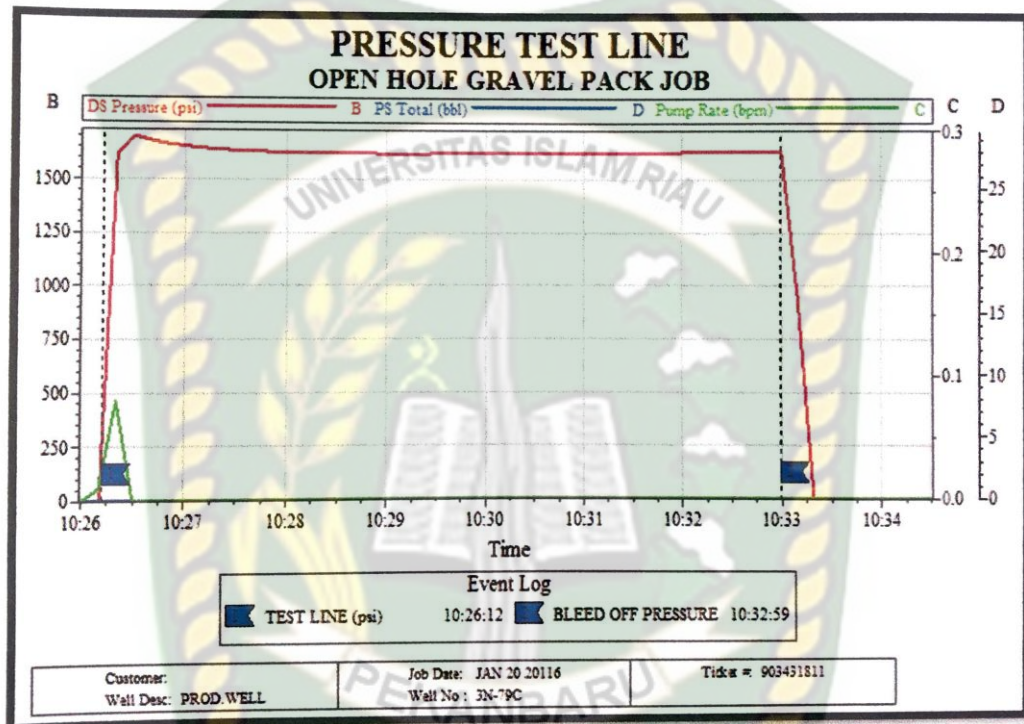
Jadi, KCL yang digunakan untuk *Gravel Pack Job* adalah sebanyak 1834 lb atau 18 sack.

Setelah jumlah *gravel sand*, *air*, dan *KCL* telah diketahui, ketiga bahan tersebut di *mix* dengan *Central Liquid Additive Mixing (CLAM)* sehingga fluida yang bercampur disebut dengan *gravel slurry*.

4.3 Pressure Test Line

Pekerjaan ini bertujuan untuk memastikan tidak adanya kebocoran yang terjadi pada *drill pipe*, sehingga pemompaan *gravel slurry* yang akan dilakukan berjalan lancar tanpa adanya *problem* kebocoran pada rangkaian *drill pipe*.

Adapun cara melakukan *pressure test line* adalah dengan cara memompakan tekanan sebesar 1600psi (tekanan yang diberikan tidak kurang dari 1500 psi) dan tahan *pressure* beberapa menit hingga dapat dipastikan tidak ada terjadi kebocoran. Pada grafik dibawah menunjukkan bahwa tidak ada kebocoran pada rangkaian *drill pipe*.



Grafik 4.1 Grafik *Pressure Test Line*

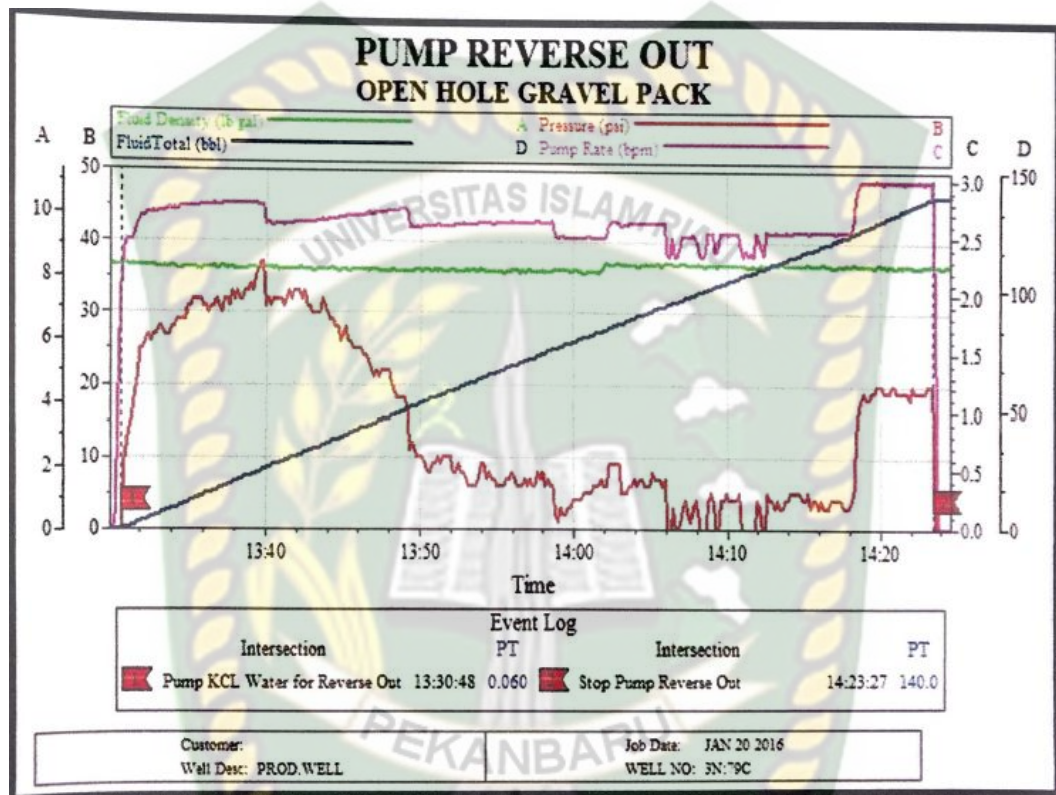
4.4 Reverse Out

Saat *pressure test line* telah selesai dilakukan, maka pekerjaan memompakan fluida *reverse out* dapat dilakukan untuk membersihkan annulus dari clay maupun sisa *cutting*. Fluida yang dipompakan adalah 2% KCL water melalui *annulus casing – drill pipe* dengan jumlah volume *reverse out* yang telah dihitung secara *theoretical*, yaitu sebanyak 2 kali lebih banyak dari volume *bore hole* agar proses pembersihan didapatkan hasil maksimal.

Reverse out akan terus dilakukan hingga fluida yang kembali (*return*) benar-benar bersih dari segala macam jenis pengotor. Saat fluida kembali bersih

dari sisa *cutting* dan *clay*, maka proses dari *gravel pack job* selanjutnya dapat dilakukan.

Berikut adalah grafik yang menunjuk pemompaan *reverse out* pada sumur total loss dilapangan XY :



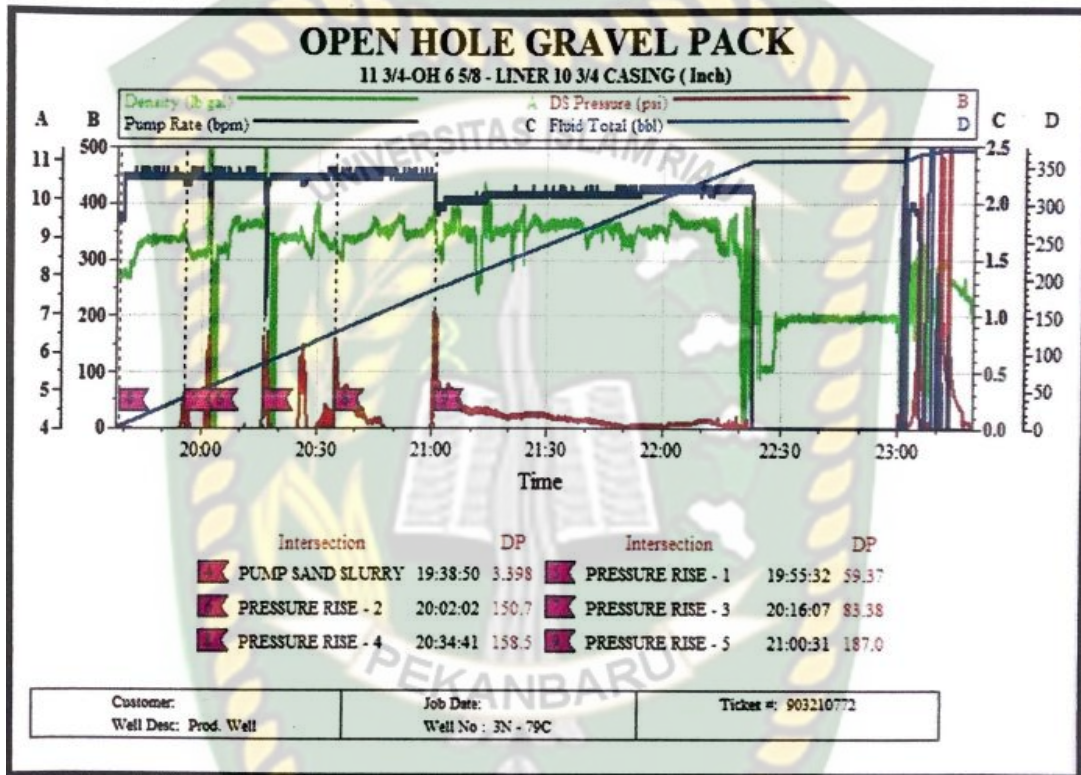
Grafik 4.2 Grafik *pump Reverse Out*

4.5 Pemompaan Gravel Slurry dan Problem Lost Circulation

Pemompaan *gravel slurry* dilakukan dengan memompakan *gravel slurry* yang sesuai dengan jumlah yang telah dihitung pada langkah sebelumnya dengan *rate* yang telah ditentukan yaitu 2,5 bpm dan *density* 9,0 – 9,5 lb/gal. Ukuran butiran *gravel sand* yang digunakan pada sumur total loss lapangan XY untuk mengatasi masalah kepasiran adalah 20/40 mesh. Ukuran butiran *gravel sand* harus lebih besar dari pada butiran pasir pada lapisan formasi sumur total loss lapangan XY. Pada saat pemompaan *gravel slurry*, kita dapat memantau langsung grafik yang terkoneksi langsung ke PC di permukaan. Dari grafik yang ada, kita dapat memantau jumlah *gravel slurry* yang masuk dengan *rate* juga akan terbaca pada

grafik. Yang paling penting adalah nilai tekanan. Dari nilai tekanan yang ditunjukkan oleh grafik, *gravel sand* yang sudah *pack* pada *bore hole* maupun *problem lost circulation* akan dapat diketahui.

Selama proses pemompaan, masalah yang sering terjadi adalah terjadinya *lost circulation* dimana hilangnya *gravel slurry* yang dipompakan ke formasi seperti yang ditunjukkan pada grafik berikut ini:



Grafik 4.3 Grafik Open Hole Gravel Pack

Dari grafik 4.3 dapat terlihat bahwa adanya *pressure* yang naik sesaat dan kembali turun. Adanya *clay* yang menghambat saat memompakan *gravel slurry* adalah penyebab adanya kenaikan *pressure* tersebut. Lalu *pressure* akan kembali turun. Hal ini dapat disimpulkan bahwa *clay* telah terdorong dengan adanya *pressure* dari *rate* pemompaan *gravel slurry*.

Pada waktu 21.00 grafik 4.3, *pressure* mulai naik melebihi 200 psi. Hal tersebut dapat dinyatakan bahwa sebagian *gravel sand* mulai *pack* pada bagian terbawah annulus (*open hole – liner*) dan *gravel sand* dipompakan dengan densitas yang rendah. Akan tetapi *pressure* kembali menurun dengan signifikan. Terdapat dua

kemungkinan, yang pertama masih adanya *clay* yang menghambat. Dan kedua, telah terjadinya *lost circulation*. Untuk itu perlu tindakan untuk mengantisipasi hal terburuk seperti *lost circulation*, dengan cara sebagai berikut :

4.5.1 Rate dan Menaikkan Densitas

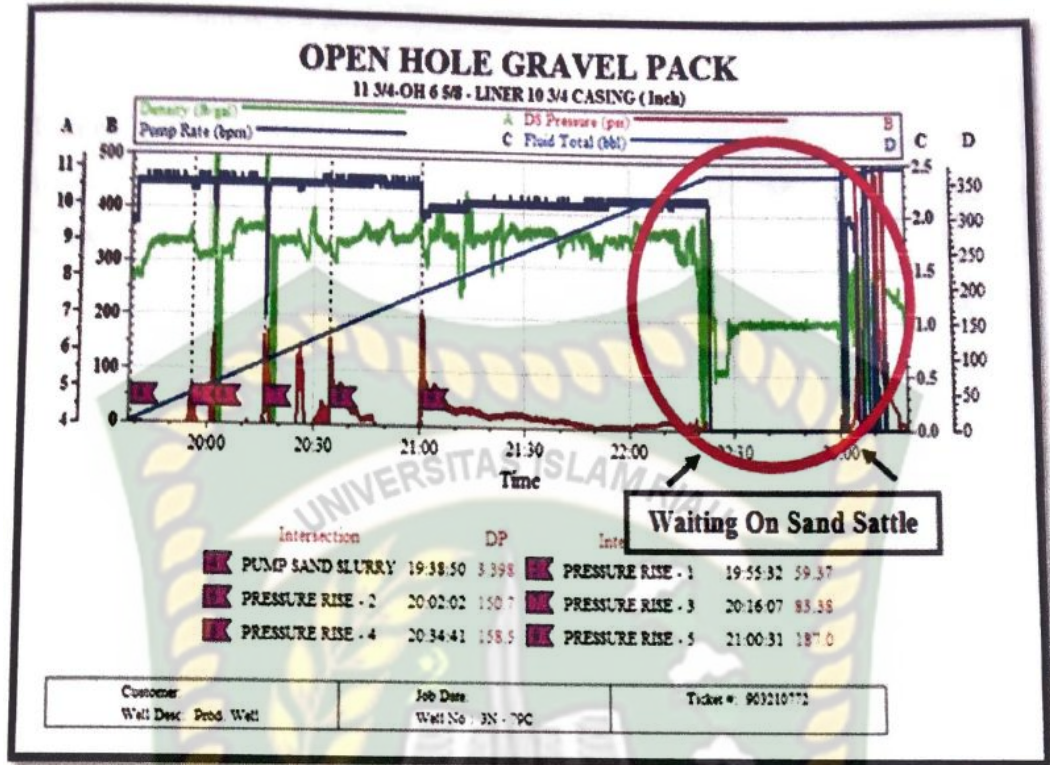
Untuk mengatasi lebih banyaknya *gravel slurry* yang hilang, tindakan yang diambil adalah menurunkan *rate* pemompaan hingga 2,0 bpm dan menaikkan densitas antara 9,5 – 10,0 lb/gal. Hal ini dilakukan mengacu kepada tindakan-tindakan yang pernah dilakukan pada sumur sekitar lapangan XY. Dimana karakteristik sumur total loss tidak jauh berbeda dengan sumur-sumur lain disekitar lapangan XY. Hal ini dilakukan dengan waktu yang cukup lama, yaitu +/- 1 jam 25 menit seperti yang terlihat pada grafik 4.3 sampai benar-benar dinyatakan bahwa hal tersebut memang benar adanya *lost circulation* dan mendapatkan persetujuan untuk menghentikan pemompaan *gravel slurry* dari *Oil Company*.

Terjadinya *lost circulation* merupakan akibat dari *clay swelling* yang pecah saat memompakan *gravel slurry* dan membentuk *frac* pada dinding formasi. *Clay* yang pecah diakibatkan oleh tidak mampunya *clay* menahan massa dan tekanan yang diberikan *gravel slurry* yang dipompakan.

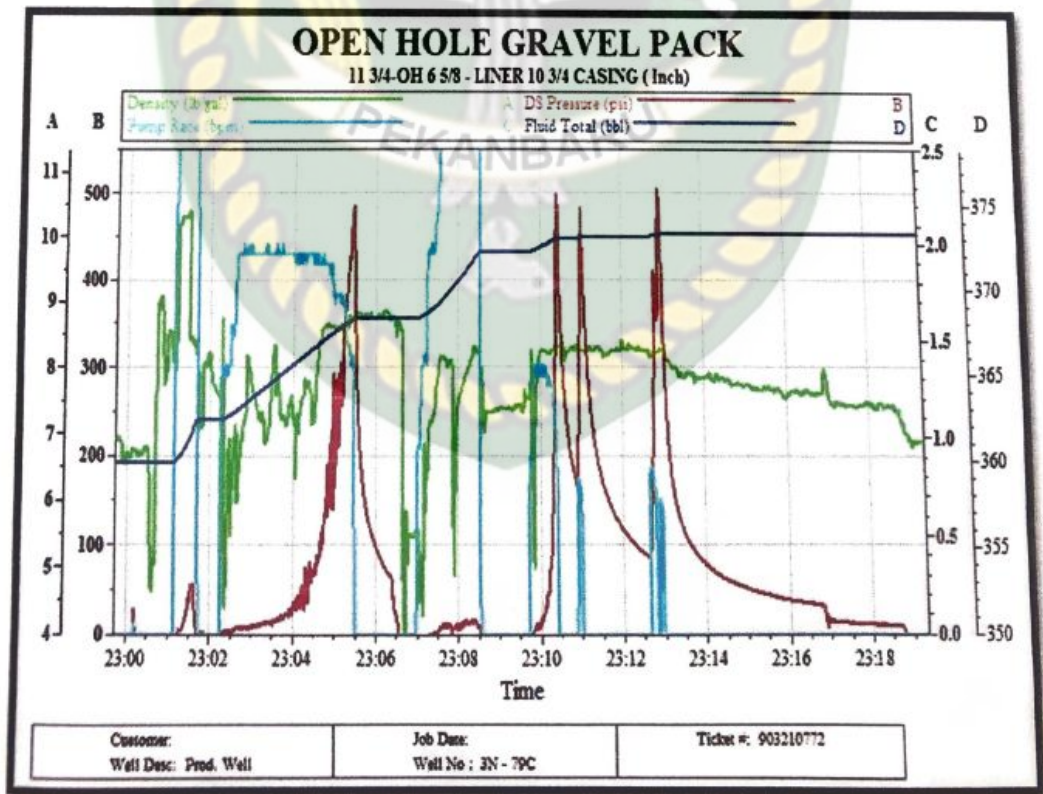
4.5.2 Waiting On sand Sattle

Pada grafik 4.3 dapat dilihat bahwa dapat dipastikan terjadi *lost circulation* dimana *gravel slurry* yang dipompakan masuk ke dalam rekahan formasi dan hilang. Oleh karena itu dilakukan metode *WO sand sattle*. Dimana pompa dimatikan setelah mendapat persetujuan dari *oil company* sehingga diharapkan *gravel sand* dapat mengendap dan menutup *frac* secara menyeluruh. *Gravel slurry* yang masuk kedalam rekahan juga akan di *pack* (padat) dengan bantuan tekanan *overburden*. *WO Sand sattle* dilakukan dengan waktu 30 menit – 60 menit.

Syarat untuk dapat melakukan *waiting on sand sattle* adalah tidak adanya *clay* pada *annulus open hole – liner*, untuk menghindari adanya zona yang kemungkinan tidak terisi oleh *gravel sand*.



Grafik 4.4 Grafik yang menunjukkan *Waiting On Sand Saddle*



Grafik 4.5 Grafik *Open Hole Gravel Pack* (lanjutan)

Pada grafik 4.5 dapat dilihat bahwa setelah dilakukannya *Waiting On Sand Sattle, problem lost circulation* dapat dikendalikan. Hal tersebut ditandai dengan tekanan yang kembali naik setelah *gravel slurry* kembali dipompakan. Setelah tekanan hampir mencapai 500 psi, maka pemompaan dihentikan karena hal tersebut merupakan tanda bahwa *gravel slurry* yang dipompakan telah *pack*.

Pada grafik 4.5 dapat dilihat bahwa terdapat kenaikan volume fluida. Pada grafik tersebut fluida yang dipompakan bukan lagi *gravel sand*, melainkan *KCL water* yang digunakan untuk membersihkan rangkaian *drill pipe* dari *gravel sand* yang tersisa dari *gravel pack job* dan aliran akan diarahkan menuju pit. Pekerjaan ini biasa disebut dengan *flash line*.

Lakukan *test packing* untuk memastikan kembali *gravel sand* yang dipompakan telah *pack* dengan memberikan tekanan sebesar 500 psi sebanyak 3 kali seperti yang terlihat pada grafik 4.5

4.6 Perhitungan *Gravel Sand* Yang Hilang

Akibat adanya *problem lost circulation*, tentu jumlah *gravel sand* yang hilang harus diketahui. Oleh karena itu, perlu melakukan perhitungan untuk mengetahui jumlah *gravel sand* yang hilang dengan menganalisa grafik 4.3 dan data densitas sebagai berikut :

Tabel 4.1 Tabel Jumlah *Gravel Sand* berdasarkan Densitas

Slurry Density	Water density	sack/bbl
9	8.33	0.477272727
9.1	8.33	0.548507463
9.2	8.33	0.619742198
9.3	8.33	0.690976934
9.4	8.33	0.762211669
9.5	8.33	0.833446404
8.5	8.33	0.12109905

Untuk mengetahui pasti kerugian jumlah *gravel sand* akibat terjadinya *lost circulation* saat memompakan *gravel slurry*, perlu dilakukan perhitungan sebagai berikut :

- a. Pada jam 19.40 – 19.55 dipompakan *gravel slurry* dengan densitas 9.0 dan jumlah *gravel sand* sebanyak 40 bbl.

$$= 40 \text{ bbl} \times 0,477272727 \text{ sack/bbl} = 19,09 \text{ sack}$$
- b. Pada jam 19.55 – 20.10 dipompakan *gravel slurry* dengan densitas 8.5 dan jumlah *gravel sand* sebanyak 35 bbl (75 bbl – 40 bbl = 35 bbl)

$$= 35 \text{ bbl} \times 0,12109905 \text{ sack/bbl} = 4,23 \text{ sack}$$
- c. Pada jam 20.10 – 20.18 dipompakan *gravel slurry* dengan densitas 9.5 dan jumlah *gravel sand* sebanyak 25 bbl (100 bbl – 75 bbl = 25 bbl)

$$= 25 \text{ bbl} \times 0,833446404 \text{ sack/bbl} = 20,84 \text{ sack}$$
- d. Pada jam 20.18 – 21.00 dipompakan *gravel slurry* dengan densitas 9.0 dan jumlah *gravel sand* sebanyak 75 bbl (175 bbl – 100 bbl = 75 bbl)

$$= 75 \text{ bbl} \times 0,477272727 \text{ sack/bbl} = 35,79 \text{ sack}$$
- e. Pada jam 21.00 – 22.22 dipompakan *gravel slurry* dengan densitas 9.5 dan jumlah *gravel sand* sebanyak 250 bbl (350 bbl – 175 bbl = 175 bbl)

$$= 175 \text{ bbl} \times 0,833446404 \text{ sack/bbl} = 145,85 \text{ sack}$$

Penentuan jumlah *gravel sand* adalah dengan membaca grafik 4.3

$$\begin{aligned} \text{Jumlah total} &= 19,09 \text{ sack} + 4,23 \text{ sack} + 20,84 \text{ sack} + 35,79 \text{ sack} + \\ &145,85 \text{ sack} \\ &= 225,8 \text{ sack} \\ &= 256 \text{ sack} \end{aligned}$$

Jadi, jumlah *gravel sand* yang dipompakan sebanyak 256 *sack*. Yang berarti berarti berbeda dengan hasil perhitungan secara *theoretical* yang disebabkan oleh *lost circulation*.

Sedangkan secara *theoretical* jumlah total adalah 109 *sack*. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pada sumur total loss lapangan XY mengalami *lost circulation* dan jumlah *gravel sand* yang hilang dapat diketahui dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\text{Jumlah } \textit{gravel sand} \text{ yang hilang} = 256 \text{ sack} - 109 \text{ sack} = 147 \text{ sack}$$

Jadi, jumlah *gravel sand* yang hilang akibat adanya *lost circulation* adalah sebanyak 147 *sack*.

4.7 Pembahasan *Reverse Out*

Sebelum memompakan *gravel slurry*, pekerjaan *reverse out* harus terlebih dahulu dilakukan. *Reverse Out* bertujuan membersihkan annulus dari *clay* dan sisa *cutting* dari pekerjaan sebelumnya.

Fluida *reverse out* berupa 2 % *KCL water* yang dipompakan lewat annulus dan keluar melalui *string* sebanyak minimal 1.5 kali dan maksimal 2 kali *volume bore hole*.



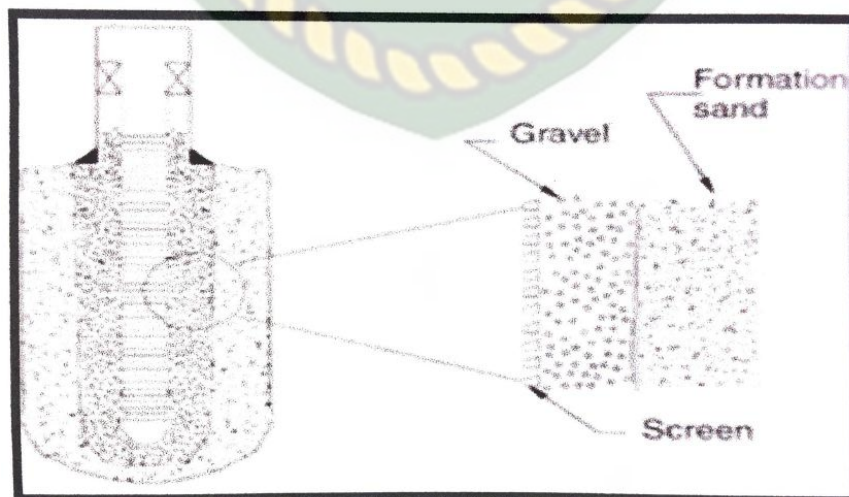
Gambar 4.1 Gambar Aliran *Reverse Out*

Dari perhitungan yang telah dilakukan, didapat hasil 73 bbl 2% KCL water untuk membersihkan segala annulus pada *bore hole*. Pada aplikasi lapangannya, hasil *volume reverse out* yang didapat pada perhitungan harus 2 kali lebih banyak dari *volume reverse out* yang telah diperhitungkan. Jadi, *volume reverse out* adalah 146 bbl. Cara ini dilakukan agar proses *reverse out* dapat bekerja lebih efisien untuk membersihkan *bore hole*.

4.8 Pembahasan Gravel Pack Job

Setelah *bore hole* dapat dipastikan benar-benar bersih, *gravel slurry* siap untuk dipompakan ke annulus antara *open hole* – *liner*. Dari perhitungan yang telah dilakukan, didapatkan hasil *theoretical 109 sack* sebagai jumlah *gravel sand* yang akan dipompakan ke dalam annulus. Jumlah *gravel sand* akan dicampur dengan 259,5 bbl air dan 1834 lb atau 18 *sack Potassium Chloride* atau KCL. Hasil tersebut didapatkan dari perhitungan yang telah dilakukan berdasarkan banyaknya jumlah *gravel sand* yang akan digunakan.

Proses pemompaan *gravel slurry* menuju annulus berbeda dengan proses pemompaan *reverse out*. Jalur pemompaan *gravel slurry* merupakan kebalikan dari *reverse out*. *Gravel slurry* dipompakan melalui rangkaian *Drill Pipe (DP)* sedangkan *reverse out* melalui annulus. Dari DP, *gravel slurry* akan keluar dari lubang yang ada pada bagian bawah GP *tool* dan akan mengisi *annulus open hole* – *liner* hingga *pack*.



Gambar 4.2 Gravel Sand pada Annulus Open Hole - Liner

4.9 Pembahasan *Lost Circulation* Pada Saat Pemompaan *Gravel Slurry*

Lost Circulation merupakan *problem* yang sering terjadi pada saat memompakan *gravel slurry*. Hilangnya *gravel slurry* saat dipompakan akan berakibat pada lamanya waktu pekerjaan dan akan lebih banyak *cost* yang akan dikeluarkan nantinya.

Pada perhitungan sebelumnya, kita dapat menganalisa pada grafik 4.3 bahwa terjadi *lost circulation* pada saat memompakan *gravel slurry*. Pada kondisi seperti ini, tindakan yang perlu diambil adalah sebagai berikut :

4.9.1 Menurunkan *Rate* dan Meningkatkan Densitas

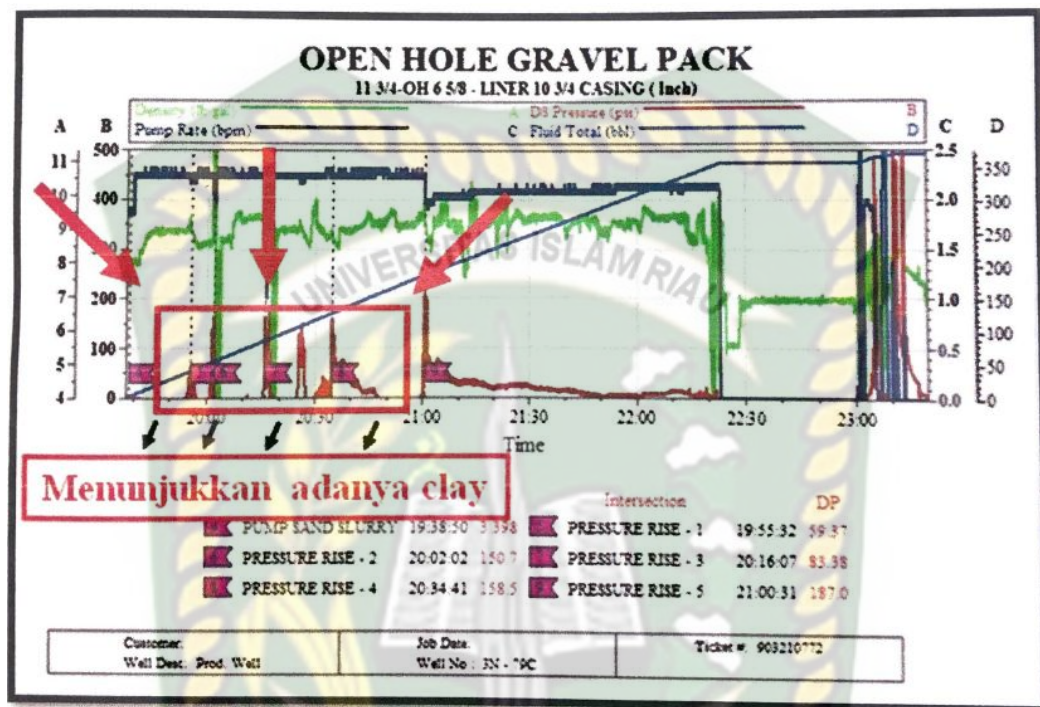
Pada saat kondisi seperti ini tindakan harus segera diambil untuk mengantisipasi banyaknya *gravel slurry* yang akan hilang menuju formasi. Tindakan yang diambil adalah menurunkan *rate* dan menaikkan densitas dengan tujuan memompakan *gravel sand* lebih banyak dengan tekanan yang rendah. *Rate* pemompaan diturunkan hingga 2.0 bpm dan menaikkan densitas antara 9,5>10,0 lb/gal.

4.9.2 *Waiting On Sand Sattle*

Waiting on sand sattle adalah metode yang tepat untuk mengatasi *problem lost circulation* pada saat memompakan *gravel slurry*. Dengan menghentikan pemompaan diharapkan *gravel sand* yang telah berada pada *annulus open hole – liner* akan *sattle* dan segera mengendap. *Waiting on sand sattle* dilakukan setelah memenuhi syarat, yaitu tidak adanya *clay* pada *bore hole* atau pada *annulus*. Jika masih terdapat *clay* pada *bore hole* atau pada *annulus*, maka pemompaan *gravel slurry* tidak boleh dihentikan, karena *gravel sand* yang dipompakan ke dalam *annulus* bisa *sattle* hanya pada titik tertentu dan tidak sampai pada dasar sumur atau disebut juga dengan *bridging*. Kondisi dimana masih terdapat *clay* di dalam *annulus* bisa diketahui melalui analisa *pressure* pada grafik 4.6

Dari grafik 4.6 dapat diketahui bahwa terlihat adanya indikasi *clay* pada *annulus* sebagaimana yang ditunjukkan dengan adanya kenaikan *pressure* yang

tidak normal. Hal ini ditandai dengan adanya kenaikan tekanan padahal volume gravel slurry yang dipompakan belum mencapai volume secara *theoretical*. Pada jam 20.02, terdapat kenaikan *pressure* lalu kembali turun, juga terulang pada jam 20.17, jam 20.28, dan pada jam 20.35.



Grafik 4.6 Grafik yang menunjukkan adanya *clay*

Tekanan yang naik tersebut kembali turun akibat *clay* yang ada tidak terlalu kuat menahan tekanan dari pemompaan *gravel slurry*. Hal inilah yang menyebabkan terbentuknya *frac* (rekahan) pada dinding formasi dan terjadinya *lost circulation*.

Gravel slurry yang masuk kedalam formasi melalui *frac* juga akan mengendap dan dengan adanya *overburden pressure* diharapkan *gravel sand* akan *pack* (padat). Hal ini sangat efisien untuk menutup rekahan yang ada pada dinding formasi, sehingga *gravel pack job* dapat kembali dilanjutkan hingga *gravel sand* pada di dalam annulus. Dan akhirnya produksi siap untuk dilakukan.

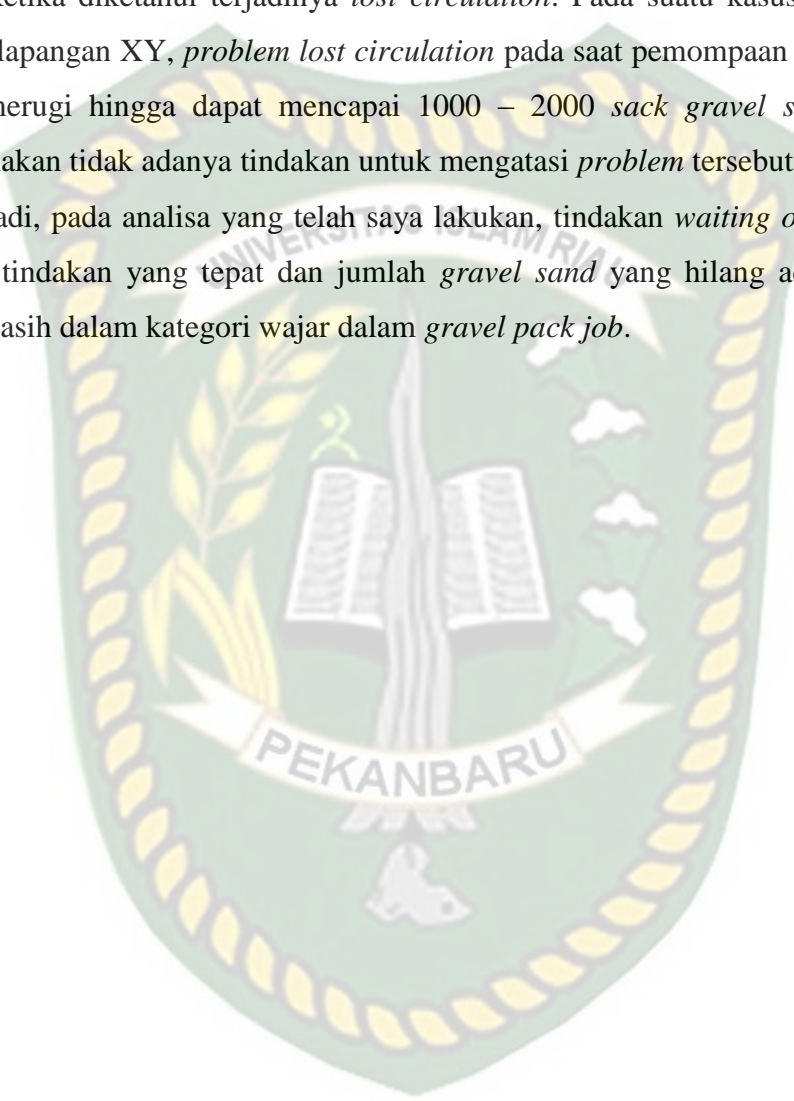
4.10 Pembahasan Jumlah *Gravel Sand* Yang Hilang

Setelah melakukan perhitungan pada bab sebelumnya, diketahui bahwa terdapat 256 *sack* yang dipompakan ke dalam *annulus open hole – liner*. Jumlah tersebut jauh berbeda dari perhitungan secara *theoretical* yaitu sebanyak 109 *sack*.

Jadi dapat disimpulkan bahwa terdapat 147 *sack* yang hilang akibat adanya *problem lost circulation* pada sumur total loss lapangan XY.

147 *sack gravel sand* yang hilang adalah jumlah yang masih wajar untuk pemompaan *gravel slurry*. Hal ini karena telah dilakukannya *waiting on sand settle* ketika diketahui terjadinya *lost circulation*. Pada suatu kasus pada sumur lain di lapangan XY, *problem lost circulation* pada saat pemompaan *gravel slurry* akan merugi hingga dapat mencapai 1000 – 2000 *sack gravel sand*. Hal ini dikarenakan tidak adanya tindakan untuk mengatasi *problem* tersebut.

Jadi, pada analisa yang telah saya lakukan, tindakan *waiting on sand settle* adalah tindakan yang tepat dan jumlah *gravel sand* yang hilang adalah jumlah yang masih dalam kategori wajar dalam *gravel pack job*.



BAB V KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

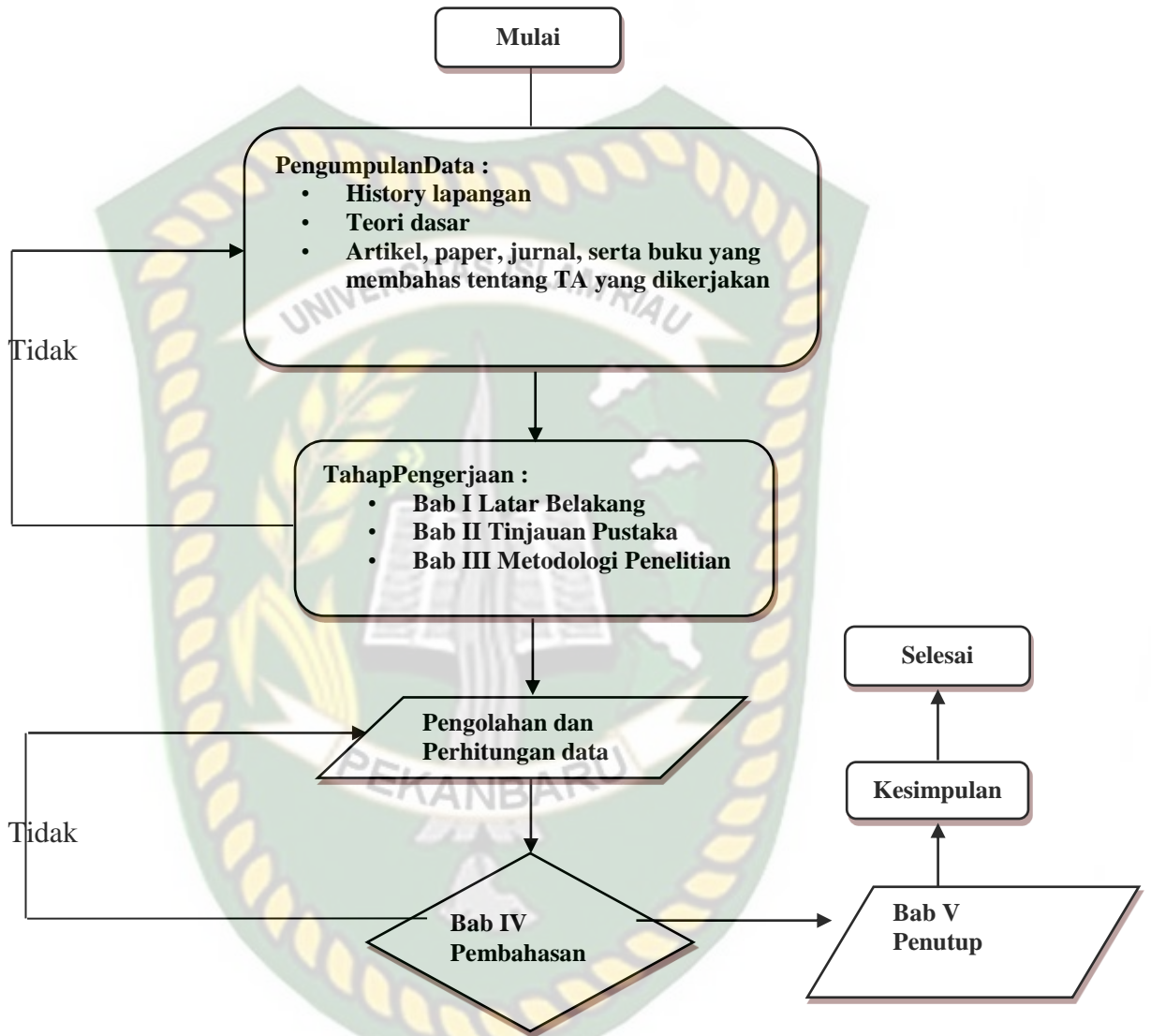
Dari tahap-tahap yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada penelitian ini telah disimpulkan bahwa memang benar ada nya *problem lost circulation* pada sumur total loss di lapangan XY dan telah diatasi dengan metode *Reverse Out Circulation* dan pada *Gravel Pack Job* dilakukan tindakan Menurunkan *rate* dan Menaikkan Densitas serta tindakan *Waiting on sand settle*.
2. Pada perhitungan *volume gravel slurry* didapatkan hasil yang terdiri dari 109 *sack gravel sand*, 259,5 bbl air, dan 1834 lb (18 *sack*) *KCL*. Bahan-bahan tersebut akan dicampur pada CLAM (*Central Liquid Additive Mixing*) dan menghasilkan fluida yang disebut *gravel slurry*.
3. *Lost Circulation* yang terjadi pada saat memompakan *gravel slurry* merupakan akibat adanya rekahan (*frac*), pada dinding formasi yang terbentuk pada saat *clay* runtuh. Tindakan *waiting on sand settle* merupakan tindakan yang tepat untuk mengatasi masalah *lost circulation* pada sumur total loss dilapangan XY. *Waiting on sand settle* merupakan tindakan mematikan pompa agar *gravel slurry* yang telah dipompakan ke sumur dapat mengendap dan menutup *frac* pada dinding formasi dengan bantuan tekanan *overburden*. Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, sebanyak 256 *sack gravel sand* yang telah dipompakan ke sumur total loss dilapangan XY dan 147 *sack gravel sand* yang hilang akibat adanya *problem lost circulation*.

5.2 Saran

Untuk analisa selanjutnya, hal yang dapat disarankan oleh penulis adalah menentukan keekonomian *gravel pack job* yang mengalami *problem lost circulation* seperti sumur total loss dilapangan XY dan melakukan tindakan *waiting on sand settle*.

FLOW CHART TUGAS AKHIR



DAFTAR PUSTAKA

- “ZRD File”, PT. BSP – Pertamina Hulu, BOB
- Gulati, M.S., Maly, G.P., (1975) “*Thin Section and Permeability Studies Call for smaller Gravel in Gravel Packing*” *Journal of Petroleum of Technology*, p. 107. January
- Gupta, A., Yan, S.D., 2006, “*Mineral Processing Design And Operation*”, Perth, Australia
- Gurley, D.G., Copeland, C.T., and Hendrick Jr., J.O 1977. Design, Plan, and Execution of Gravel-Pack Operations for Maximum Productivity. *J Pet*
- Halliburton file, PT. BSP – Pertamina Hulu, BOB
- Howard, G.C., Montagna, J.N., and Richard, B.M.,(1950) “*Studies, Guidelines, and Field Result of Nonviscosified Completion Brine Gravel Pack Carrier Fluids,*” SPE 23774, presented at Int’l. Symp. On Formation Damage Control.
- Howard, G.C., and Scott, P. P., Jr (1953) “*An Analysis and The Control of Lost Circulation,* *Trans. Am. Inst. Mining Met. Engrs. (Petroleum Development and Technology)* 198, 111
- Kelly, G., W., 1982, “*Intorduction to Mineral Processing*”, John Wiley & Son, New York
- Kohlhass, S.G.,(1955) “*Gravel Packing Studies in a Full-Scale Deviated Model Wellbore,*” *J Pet Tech*, pp. 603-609
- Kuncoro, B and Ulumuddin, B (2001). *Sand Control*, 1, 11-17. Richardson, Texas: Monograph Series, SPE.
- Kusuma, H., (2005) “*Full Scale Gravel Packing Model Studies and Gravel Pack Job,*”*Proc.*, SPE European Offshore Petrol. Conf. And Exhib.s
- Oyenyin, M.B., Peden, J.M., Ren, G., Bigno, Y., and Hosseini, A.,(1993) “*A new Gravel Sizing Computer package for effective sand control and performance evaluation,*” SPE Paper No. 26219
- Penberthy, W.L. Jr. and Shaughnessy, C.M. (1992). *Sand Control*, 1, 11-17. Richardson, Texas: Monograph Series, SPE
- Pertamina “*Penanggulangan Masalah Pasir Dengan Cara Mekanis*” 2003

- Pitoni. E., (1995) “*Specialist Share Knowledge of Sand Control Methods*”,
Journal of Petroleum Technology, p.550. July
- Pitoni. E.,(1997) “Open Hole Gravel Pack in Depleted Permeable Sands” SPE
Paper No. 38157
- Saucier, R.J 1974. Considerations in Gravel Pack Design. *J Pet Technol*: 205-212.
SPE-4030-PA
- Shumate, H. J (1953) “Lost Circulation its causes and What to Do about it” Oil
Gas, World Oil, Jan.
- Sparlin, D.D 1974. Sand and Gravel – A Study of Their Permeabilities. Presented
at the SPE Symposium on Formation Damage Control, New Orleans,
Louisiana, 30 January
- Tulsa, C.O., Jr.,(1981) “Gravel Pack Studies in a Full-Scale High-Pressure
Wellbore Model,” SPE 16890, presented at SPE Annual Technical Conf. &
Exhib.
- Wassouf, M.A., and Andrews, P.W.,(2011) “Mechanics of Gravel Placement and
Packing: A Design and Evaluation Approach,”*SPE Prod Eng*, pp.
- Weatherford. (2010) *Packer Catalog*
“Well file”, PT. BSP – Pertamina Hulu, BOB
- William, k.ott.,P.E, (2006), “Sand Control Techniques” Houston Texas.
- Wills, B. A., 1989, “Mineral Processing Technology”, Maxwell MacMillan
International Edition, Pergamon Press, Oxford.