

**STUDI PEMILIHAN JENIS PERFORATOR DAN POLA
PERFORASI SESUAI DENGAN KEADAAN BATUAN DAN
KONDISI SUMUR YANG TELAH DIPERHITUNGAN
SEBELUMNYA PADA SUMUR X LAPANGAN Y**

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Melengkapi Syarat Dalam Mencapai Gelar Sarjana Teknik

Oleh

SPICA JUL FADLI SIREGAR

153210269



**PROGRAM STUDI TEKNIK PERMINYAKAN
UNIVERSITAS ISLAM RIAU
PEKANBARU
2021**

KATA PENGANTAR

Rasa syukur disampaikan kepada Allah SWT atas rahmat dan limpahan ilmu dari-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Penulis 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 dalam penyelesaian tugas akhir ini serta memperoleh ilmu pengetahuan selama perkuliahan. Tanpa bantuan dari mereka tentu akan sulit rasanya mendapatkan gelar Sarjana Teknik ini. Oleh karena itu saya ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Ir. H. Ali Musnal, MT. Selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk memberi masukan dalam penyusunan tugas akhir ini.
2. Ketua Prodi Ibu Novia Rita., ST.,MT dan sekretaris program studi Bapak Tomi Erfando, S.T., M.T serta dosen-dosen yang banyak membantu terkait perkuliahan, ilmu pengetahuan, dan dukungan yang telah diberikan.
3. Bapak dan Ibu Dosen, Staf pengajar yang sangat banyak membantu terkait perkuliahan, ilmu pengetahuan dan hal lain yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu.
4. Kedua orang tua Bapak Zainuddin Siregar dan Ibu Ida Juliana Gultom yang selalu memberikan doa yang senantiasa mengiringi.
5. Bapak Kemal Permadi, Bapak Aditya Nugraha, Bapak Timothy Ivan, Bapak Muhamad Taufik Hidayat selaku pembimbing lapangan yang telah memberikan kesempatan untuk pengambilan data dan memberikan pengarahan serta masukan selama penelitian tugas akhir ini.
6. Terimakasih juga saya sampaikan kepada teman-teman TA (seperjuangan) yang telah banyak membantu, mendukung, dan mendorong saya untuk tetap semangat melakukan penelitian.
7. Seluruh teman-teman Teknik Perminyakan angkatan 2015 terkhusus angkatan 2015 kelas C yang telah memberi semangat kepada saya dan sama-sama berjuang dari pertama kuliah.

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

Pekanbaru, 20 Desember 2020

SPICA JUL FADLI SIREGAR



Dokumen ini adalah Arsip Miik :

Perpustakaan Universitas Islam Riau

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR SIMBOL	viii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	x
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan Penelitian.....	2
1.3. Manfaat Penelitian.....	2
1.4. Batasan Masalah.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Dasar Teori Perforasi.....	4
2.2 Perencanaan Perforasi	5
2.3 Analisa Kondisi Reservoir.....	9
2.4 <i>Perforated Completion</i> dan Pola Perforasi.....	10
2.5 Teknik dan Metode Eksekusi Perforasi.....	14
2.6 Tipe perforating gun	15
2.7 <i>State Of The Art</i>	16
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	19
3.1 Jenis Penelitian	19
3.2 Metode Penelitian.....	19
3.3 <i>Flow Chart</i>	20

3.4	Waktu Pelaksanaan Penelitian.....	20
3.5	Sejarah Singkat Perusahaan.....	21
3.6	Letak Geografis	22
3.7	Persebaran Fasilitas Operasi Produksi Lirik Field	23
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		24
4.1	High Shoot Density	25
4.2	Data sumur x lapangan y	26
4.3	Hasil dari perhitungan reperforasi	27
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		28
5.1	Kesimpulan.....	28
5.2	Saran.....	28
DAFTAR PUSTAKA		30
LAMPIRAN 1.....		32
LAMPIRAN 2.....		35

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Efek perforasi terhadap batuan (Apolianto & Mucharam, 2012)	5
Gambar 2. 2 Grafik Productivity Ratio Vs Perforation Length (Locke, 1981)	7
Gambar 2. 3 Perforator Phasing (Pratama et al., n.d.)	8
Gambar 2. 4 Performa Perforator Yang Menembus Dengan Diameter Yang Berbeda (Burky Et Al., 2018)	9
Gambar 2. 5 Proses Perforasi Dengan Perforating Gun (Pratama et al., n.d.)	10
Gambar 2. 6 <i>Perforated Casing Completion</i> (Teori et al., n.d.)	12
Gambar 2. 7 Pola Sederhana Pada Perforasi (Galante, 2013)	13
Gambar 2. 8 <i>High Density Gun</i> Pola Selang Seling (Hansen, n.d.)	13
Gambar 2. 9 Skematik Dari Jet Perforator (Robinson, 1957)	14
Gambar 2. 10 Skematik Dari Bullet Perforator (Perforation & Jdidi, N.D.)	15
Gambar 3. 1 <i>Flow Chart</i> Penelitian	20

DAFTAR SIMBOL

a_p	= penetrasi pada formasi, inci.
C_i	= compressive strength batuan, psi
d_w	= geometri lubang, inci
PIs	= specific productivity index, B/D/psi/ft
r_s	= jari jari daerah rusak atau damage, inci
ks	= permeabilitas daerah rusak atau damage, md
kr	= permeabilitas horizontal, md
kz	= permeabilitas vertikal, md
μ	= viskositas minyak, cp
t_{cement}	= tebal semen, inci
S_d	= damage skin factor
S_p	= perforation skin factor
s_t	= faktor skin akibat pemboran
OD	= diameter lubang sumur, inci
r_w	= jari jari lubang sumur, feet
r_e	= jari jari pengurasan sumur, feet
θ	= sudut antar perforasi atau phasing $^\circ$
PR	= productivity ratio

STUDI PEMILIHAN JENIS PERFORATOR DAN POLA PERFORASI SESUAI DENGAN KEADAAN BATUAN DAN KONDISI SUMUR YANG TELAH DIPERHITUNGAN SEBELUMNYA PADA SUMUR X LAPANGAN Y

SPICA JUL FADLY
153210269

ABSTRAK

Apabila sumur telah lama berproduksi atau yang biasa disebut dengan sumur tua, maka Produksi fluida hidrokarbon akan memiliki tekanan berbeda seiring berjalannya waktu dan yang pasti tekanan tersebut akan semakin menurun dibandingkan waktu awal produksi sumur. Perubahan tekanan yang semakin menurun akan sejalan dengan turunnya laju alir produksi pada sumur minyak atau gas. Kemudian water cut yang terus meningkat yang memungkinkan nilai watercut tersebut mencapai 90% ke atas sehingga zona tersebut menjadi kurang ekonomis. Maka salah satu solusi dalam mempertahankan produktivitas sumur yaitu dengan melakukan *well completion* dengan perencanaan reperforasi atau melakukan penambahan perforasi pada interval lain. Kemudian melakukan desain paling tepat dalam perencanaannya seperti pemilihan pola perforasi, jenis perforator, penetrasi perforasi sesuai dengan variabel reservoir dan kondisi sumur yang sudah pernah dilakukan perhitungan sebelumnya. Keadaan reservoir pun juga menjadi faktor pertimbangan yang cukup penting apakah formasi tersebut consolidated atau unconsolidated sehingga perencanaan dalam pemilihan jenis perforasi lebih akurat. Perhitungan *factor skin damage* juga perlu untuk mengetahui seberapa besar kerusakan pada sumur yang diakibatkan dari kegiatan perforasi tersebut.

Pada sumur X lapangan Y ini dilakukan pemilihan jenis perforator dan pola perforasi dengan memperhitungkan dan menggunakan beberapa grafik, serta mengetahui pengaruh reperforasi yang akan dilakukan dengan memperhitungkan *specific productivity index*, *productivity ratio* dan penambahan persentase produktivitas pada sumur. Dari data yang di dapat dan setelah dilakukan perhitungan *specific productivity index* sumur X lapangan Y sebesar 0.129 B/D/psi/ft dengan phasing perforasi 90° dan pola perforasi *simple pattern* atau pola sederhana, kemudian dilakukan perubahan phasing perforasi pada sumur tersebut menjadi 180° dengan pola *staggered pattern* atau pola selang seling, maka di dapatkan nilai *specific productivity index* sebesar 0.193 B/D/psi/ft kemudian nilai persentase produktivitas sumur menjadi 49%.

Dari data yang sama juga dilakukan perhitungan sebagai perbandingan persentase produksi yaitu melakukan perforasi dengan phasing perforasi 180° dan pola selang seling, perforasi dilakukan melampaui zona damage sepanjang 3 inci, hasil persentase produktivitas sumur yang di dapat sebesar 29%.

Kata Kunci: *specific productivity index*, perforasi, phasing perforasi, reperforasi, pola perforasi

STUDI PEMILIHAN JENIS PERFORATOR DAN POLA PERFORASI SESUAI DENGAN KEADAAN BATUAN DAN KONDISI SUMUR YANG TELAH DIPERHITUNGGAN SEBELUMNYA PADA SUMUR X LAPANGAN Y

SPICA JUL FADLY
153210269

ABSTRACT

If the well has been producing for a long time or what is commonly called an old well, the production of hydrocarbon fluid will have a different pressure over time and what is certain is that the pressure will decrease compared to the initial time of well production. The decreasing pressure change will be in line with the decrease in the production flow rate in the oil or gas well. Then the water cut continues to increase which allows the watercut value to reach 90% and above so that the zone becomes less economical. So one of the solutions in maintaining well productivity is by doing well completion with reperforation planning or adding perforations at other intervals. Then do the most appropriate design in planning such as selecting the perforation pattern, type of perforator, perforation penetration according to reservoir variables and well conditions that have been calculated before. Reservoir condition is also an important consideration factor whether the formation is consolidated or unconsolidated so that planning in choosing the type of perforation is more accurate. Calculation of the skin damage factor is also necessary to find out how much damage to the well was caused by the perforation activity.

In well X field Y, the selection of perforator type and perforation pattern is carried out by calculating and using several graphics, as well as knowing the effect of reperforation to be carried out by taking into account the specific productivity index, productivity ratio and increasing the percentage of productivity in the well. From the data obtained and after calculating the specific productivity index of the X field Y well of 0.129 B / D / psi / ft with a 90 ° phasing perforation and a simple perforation pattern, then a change in the phasing of the perforation in the well is changed to 180 °. With a staggered pattern or alternating patterns, the specific productivity index value is 0.193 B / D / psi / ft, then the percentage value of the well's productivity becomes 49%.

From the same data, calculations were also carried out as a comparison of the percentage of production, namely performing perforations with 180 ° phasing perforations and alternating patterns, perforations being carried out beyond the 3-inch damage zone, the result of the percentage of well productivity obtained was 29%.

Keywords: specific productivity index, perforation, perforation phasing, perforation, perforation pattern.

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Jika semakin lama suatu sumur minyak dan gas diproduksi, maka sumur tersebut akan mengalami penurunan tekanan terhadap produksi minyak diakibatkan saturasi minyak awal akan bergerak ke arah saturasi minyak sisa, hal ini dikarenakan pergerakan air lebih mobile dibandingkan minyak.

Salah satu solusi yang dapat meningkatkan/mempertahankan produksi minyak/gas yaitu dengan melakukan reperforasi (membuat perforasi ulang) pada interval yang sama atau interval yang berbeda dengan menggunakan rangkaian alat perforator.

Dalam melakukan pekerjaan terhadap sumur minyak, terbagi menjadi beberapa tahapan, yaitu tahapan eksplorasi, pemboran, kompleksi dan produksi. Perforasi masuk pada tahapan kompleksi, dimana setelah dilakukannya pemasangan casing dan tubing string proses perforasi terhadap sumur dilakukan. (Pratama, Teknik, Fakultas, & Kebumian, n.d.)

Perforasi sumur adalah metode pembuatan lubang pada formasi dengan menggunakan perforating gun agar dapat membuat jalur penghubung untuk aliran fluida dari lubang bor menuju formasi. Setelah proses perforasi selesai evaluasi akan dilakukan untuk mendapatkan bagaimana hasil dari perforasi tersebut, baik atau kurang maksimal dari perforasi dapat dilihat dari produktivitas sumur itu. Untuk produktivitas sumur efektif tentunya diharapkan hasil pada perforated well lebih baik dari pada open hole. (Li, Sun, Gladkikh, & Wu, 2012)

Perforasi merupakan kunci utama di dalam *well completion*, metode perforasi telah berperan penting dalam menjaga stabilitas produksi minyak dan gas di beberapa dekade terakhir. (Liu, Wang, Wang, Gao, & Cheng, 2014)

Kompleksi perforasi merupakan salah satu alternatif untuk meningkatkan produksi pada formasi yang tidak kompak. Secara umum kegiatan perforasi yang dilakukan pada sumur akan menimbulkan dampak kerusakan sumur, kerusakan tersebut akan diketahui ketika adanya nilai skin. (Musnal, 2012).

Karakteristik reservoir merupakan pertimbangan paling utama dalam melakukan *well completion*, karena fluida hidrokarbon akan selalu berasosiasi dengan suatu *reservoir*, baik itu meliputi pada jenis *reservoir*, sifat batuan maupun fluidanya. Seperti contoh pada pemilihan *formation completion* yang utama di pertimbangkan yaitu faktor sementasi dan kekompakan batuan, dari hasil pertimbangan tersebut, yang pasti melalui analisis data maka akan dipilih suatu sumur dioperasikan dengan jenis *open hole* atau *perforated well/case hole*. (Alexandri, n.d.)

Faktor lain yang mempengaruhi keberhasilan proses perforasi yaitu desain serta eksekusi yang baik di lapangan, apabila pengerjaannya kurang baik maka bisa jadi suatu sumur akan mengalami kehilangan tekanan yang cukup besar. Hal tersebut pastinya akan sangat merugikan karena produksi sumur yang diharapkan meningkat tidak akan tercapai. (Apolianto & Mucharam, 2012).

1.2. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini, yaitu:

1. Mendapatkan pilihan jenis perforator dan teknik perforasi yang tepat dalam melakukan reperforasi.
2. Mengetahui pengaruh perubahan produktivitas sumur setelah reperforasi.

1.3. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian yang akan dilakukan yaitu sebagai berikut :

1. Untuk dapat mendesain rangkaian perforasi yang disesuaikan dengan keadaan *reservoir* dan kondisi sumur.
2. Mampu dalam mempertahankan dan meningkatkan produktivitas minyak.
3. Sebagai acuan bagi mahasiswa/mahasiswi untuk mengetahui cara mempertahankan produktivitas minyak dengan reperforasi.

1.4. Batasan Masalah

Penelitian ini lebih difokuskan untuk memberi pemahaman mengenai pemilihan jenis perforator yang tepat pada suatu sumur dan pola perforasi yang cocok untuk sumur tersebut sesuai dengan keadaan *reservoir* serta kondisi pada sumur, serta mengetahui perubahan dari reperforasi yang akan dilakukan.



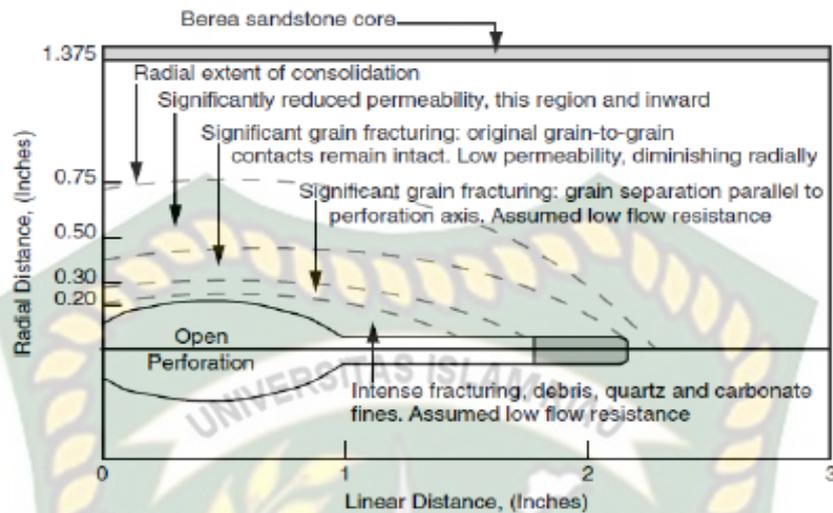
BAB II TINJAUAN PUSTAKA

“Dan dia telah menundukkan untukmu apa yang di langit dan apa yang di bumi semuanya, (sebagai rahmat) dari-Nya. Sesungguhnya pada yang demikian itu benar benar terdapat tanda tanda (kekuasaan Allah) bagi kaum yang berfikir,” QS. Al-Jatsiyah[45]:13)

2.1 Dasar Teori Perforasi

Perforasi telah menjadi salah satu komponen dari completion produksi yang baik sejak ditemukannya penyemenan casing pada sumur minyak tahun 1920. Kemudian seiring berkembangnya teknologi, teknik perforasi dikembangkan dengan penggunaan gun/senjata yang digunakan pada *electric wireline*. Namun sayangnya teknik tersebut terkadang masih kurang efisien, peluru sering tidak efektif dalam penembusan casing dan semen annulus. (Albert, Frasure, & Services, n.d.)

Pada saat formasi telah selesai dilakukan pemboran, maka selanjutnya akan dipasang casing kemudian akan dilanjutkan pada operasi penyemenan. Untuk menghasilkan jalur komunikasi aliran fluida antara reservoir dan lubang sumur maka perlu dibuat ruang yang dapat menembus daripada dinding casing, semen serta formasi. Proses pembuatan lubang itulah yang dinamakan perforasi. Kegiatan ini memerlukan bahan bahan peledak (*explosive charges*) yang kemudian akan diturunkan ke dalam sumur dengan menggunakan *electric conductor wireline cable, tubing* ataupun *drill pipe*. Apabila charges tersebut telah mencapai kedalaman yang ditentukan maka akan dilakukan peledakan untuk dapat menghasilkan lubang antara ruang bor dengan formasi. Pada gambar (2.1) menunjukkan bagaimana efek dari perforasi terhadap kondisi formasi batuan. Bagian yang bersinggungan langsung terhadap *perforation tunnel* akan menjadi lapisan yang cukup padat dan memiliki permeabilitas lebih rendah dibandingkan permeabilitas formasi batuan. Area itu disebut sebagai area *crushed zone*. (Apolianto & Mucharam, 2012).



Gambar 2. 1 Efek perforasi terhadap batuan (Apolianto & Mucharam, 2012)

Crushed zone dan lubang perforasi, jika ditempatkan secara vertikal maka akan menyerupai bentuk sumur produksi, yang dimana jari jari lubang perforasi merupakan jari jari sumur dan jari jari *crushed zone* merupakan jari jari reservoirnya sedangkan panjang perforasi merupakan ukuran ketebalan formasi yang ditembus. Maka dengan demikian, laju alir pada *crushed zone* menuju ke lubang perforasi dapat diketahui dengan menggunakan persamaan yang umum digunakan dalam menghitung laju produksi sumur. (Tobing, 2007).

2.2 Perencanaan Reprforasi

Dalam melakukan *perforated completion* perlu adanya perencanaan yang cukup matang serta analisa yang bagus, teknik perforasi kemungkinan besar persentasenya akan sesuai dengan harapan apabila perancangan untuk opsi perforasi terbaik mencapai keseimbangan optimal antara stabilitas dan produktivitas serta pelaksanaan pada proses perforasi benar dan cukup akurat. (Tewari, Malik, Ali, & Naganathan, 2005)

a) **Productivity Index**

Productivity index ialah indeks yang dipergunakan untuk dapat mengetahui bagaimana kemampuan dari suatu sumur dalam berproduksi pada suatu kondisi tertentu, seperti dilihat dari sifat fisik atuan, fluida, dan mekanisme pendorong. *Productivity index* juga dapat dinyatakan sebagai suatu perbandingan antara laju produksi sumur pada suatu harga tekanan alir dasar sumur (P_{wf}) tertentu dengan perbedaan tekanan dasar sumur saat keadaan statik (P_s) dan ketika tekanan dasar sumur saat terjadinya aliran (P_{wf}). (Musnal, 2014)

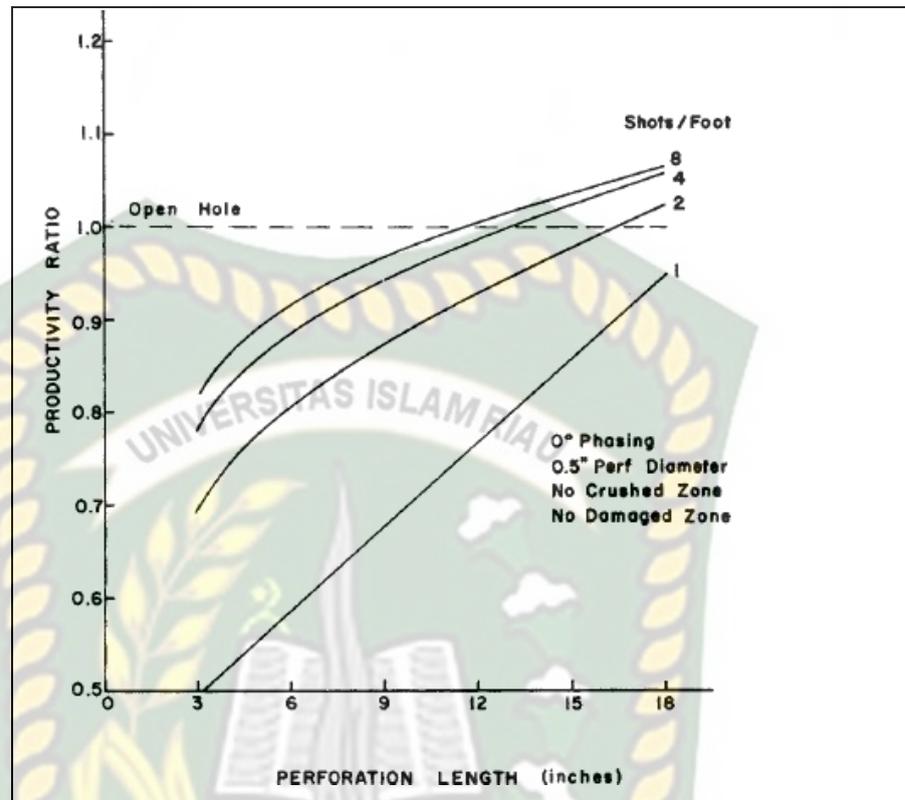
Perhitungan pengaruh penambahan perforasi terhadap produktivitas sumur:

$$PI_s = \frac{7.08 \frac{k_f}{\mu}}{S_t + \ln(0.47 \frac{r_e}{r_w})} \frac{\frac{B}{d}}{psi} / ft \dots\dots\dots(a)$$

b) **Productivity Ratio**

Productivity ratio merupakan perbandingan antara laju produksi maksimum jika sumur diperforasi dengan laju ali produksi apabila sumur di operasikan dalam keadaan *open hole*. *Produktiviti ratio* kemudian dapat dihitung pada konfigurasi perforasi yang lain dan dipilih yang paling tepat.

$$PR = \frac{q_p}{q_r} = \frac{\ln(0.47 r_e / r_w)}{S_t + \ln(0.47 r_e / r_w)} \dots\dots\dots(b)$$



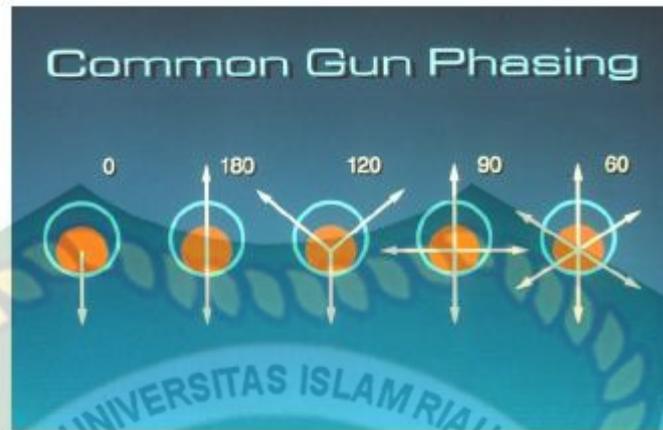
Gambar 2. 2 Grafik Productivity Ratio Vs Perforation Length (Locke, 1981)

c) Kedalaman Penetrasi Perforasi

Productivity ratio akan meningkat ketika dilakukan penambahan kedalaman penetrasi perforasi. Besarnya *productivity ratio* akan naik seiring dengan bertambahnya density perforasi. Jadi density perforasi akan dapat berpengaruh terhadap besarnya *productivity ratio* pada suatu harga kedalaman penetrasi dari proses perforasi. (Locke, 1981)

1) Phasing Perforator

Phasing merupakan sudut arah tembakan pada gun seperti yang di perlihatkan pada gambar 1 pada gambar tersebut ditunjukkan phasing yang umum digunakan.



Gambar 2. 3 Perforator Phasing (Pratama et al., n.d.)

2) Panjang Perforasi

Panjang perforasi merupakan salah satu faktor pertimbangan yang cukup penting dalam mendesain perforasi. Namun di beberapa kasus anehnya panjang perforasi tidak terlalu berdampak signifikan terhadap produktivitas sumur.

3) Diameter Perforasi

Walaupun jarang dalam pertimbangan namun diameter perforasi cukup mempengaruhi *productivity ratio*, terutama pada sumur yang produktivitasnya besar. Diameter perforasi tergantung pada desain dan pembersihan gun pada casing. Diameter perforasi juga sangat penting dalam mendominasi pilihan jenis perforator.



Gambar 2. 4 Performa Perforator Yang Menembus Dengan Diameter Yang Berbeda (Burky, Craddock, & Lavery, 2018)

4) Jumlah Lubang Perforasi

Jumlah lubang merupakan salah satu faktor penting lainnya dalam mendesain proses perforasi. Kerapatan pada tembakan mulai dari 1-27 SPF (*Shot Per Feet*). Kerapatan tembakan tinggi umumnya digunakan pada sumur dengan laju alir yang tinggi pula, kemudian optimum shot density bisa ditentukan dengan *nodal analysis simulator*.

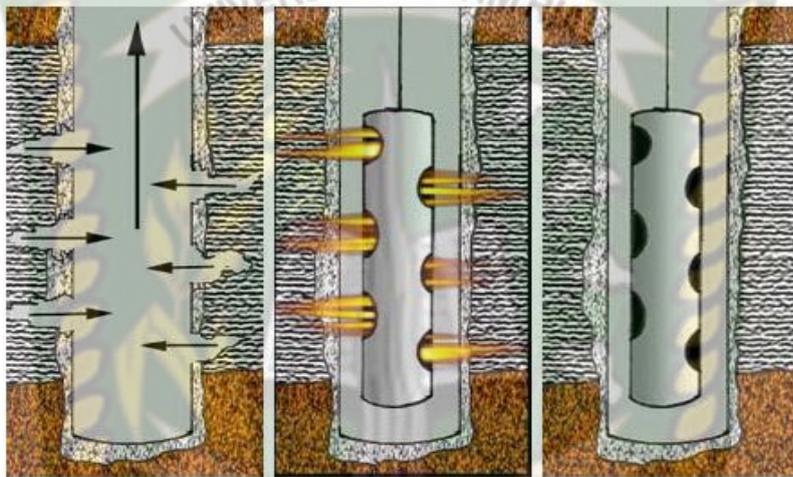
2.3 Analisa Kondisi Reservoir

Karakteristik dari suatu *reservoir* akan sangat dipengaruhi dari karakteristik batuan penyusunnya, fluida yang terdapat pada *reservoir* tersebut, dan kondisi *reservoir* itu sendiri, dimana satu sama lain akan selalu saling berkaitan. Suatu *reservoir* harus mempunyai kemampuan dalam meloloskan fluida yang ada pada *reservoir* tersebut, kemampuan dalam meloloskan fluida dapat dilihat dari nilai porositas batuan *reservoir* tersebut. (Ramud & Triyono, 2017)

Batuan reservoir dikategorikan menjadi dua jenis, yaitu consolidated dan unconsolidated. Apabila ikatan antar matriks batuan reservoir tersebut tersemen dengan baik, yang menjadikan secara keseluruhan batuan tersebut lebih kompak dan padat, itu disebut consolidated. Sebaliknya apabila pada formasi unconsolidated batuan rapuh, ikatan antar matriks tidak tersemen dengan baik atau bahkan dapat menimbulkan kepasiran. Biasanya kondisi seperti ini

tergantung pada factor geologis. Berdasarkan dari jenis kondisi pada batuan reservoir tersebut harus dipilih tipe perforasi yang paling tepat untuk digunakan dalam membentuk jalur aliran fluida hingga dapat melewati casing dan akan diproduksi melalui tubing string. (Pratama et al., n.d.)

Jenis perforasi ada beberapa macam, seperti perforasi yang dibedakan berdasarkan kedalaman penetrasinya dan perforasi yang dibedakan berdasarkan jumlah amunisi yang ditembakkan per satu feet (SPF). (Pratama et al., n.d.)



Gambar 2. 5 Proses Perforasi Dengan Perforating Gun (Pratama et al., n.d.)

2.4 Teknik perforasi dan Pola Perforasi

Ada beberapa alternative pada sistem perforasi, yang pertama yaitu sistem *wireline* konvensional, merupakan suatu metode melubangi casing pada sumur dengan peralatan *perforating gun* yang diantarkan melalui permukaan sumur ke zona tujuan yang telah ditentukan dengan menggunakan peralatan *wireline*. Sedangkan *tubing conveyed perforating* (TCP) sistem yang menjadi akses alat *perforating gun* dimasukkan dari permukaan menuju zona yang telah ditentukan dengan menggunakan *string tubing* atau *drillpipe*. Kemudian ada *coiled tubing conveyed*, sistem diaktifkan dengan energi listrik pada saat pengoperasian, biasanya *coiled tubing conveyed* digunakan pada sumur sumur horizontal, secara umum dipakai nitrogen untuk menggantikan fluida kompleks agar pada saat penembakan dengan kondisi *underbalance*, runtuhannya formasi lebih cepat dibersihkan dengan sendirinya oleh fluida formasi. sistem tersebut baik *wireline*

convensional maupun *tubing conveyed perforating* digunakan sesuai kondisi dan analisa yang telah dilakukan pada lapangan. Peralatan dan teknik perforasi yang akan digunakan juga memiliki perbedaan satu sama lain. (Wilson, 2017)

Kelebihan dari *wireline* sistem :

- Perforating gun dijalankan dengan menggunakan kabel agar lebih mendapatkan kontrol yang akurat
- Senjata dengan diameter yang lebih besar dapat digunakan
- Kontrol pada sumur yang lebih efektif
- Operasi mekanis lebih sederhana

Keterbatasan *wireline* sistem

- Membutuhkan waktu rig untuk proses perforasi
- Butuh peralatan rig up pada lantai rig

Kelebihan TCP sistem

- Interval di dalam reservoir yang cukup panjang dapat dilubangi dengan sekali jalan
- Kerusakan formasi dapat diminimalkan karena perforasi dapat dilakukan walaupun dalam kondisi tidak seimbang
- Pengurangan yang cukup signifikan dalam waktu rig

Keterbatasan TCP sistem

- Butuh waktu lebih lama dalam proses pengerjaannya

Kelebihan Through Tubing System

- Pempatan yang tepat serta pengambilan yang cepat dengan menggunakan kabel atau unit saluran listrik
- Kontrol pada kedalaman cukup akurat
- Mengurangi biaya
- Meminimalkan kehilangan saat produksi

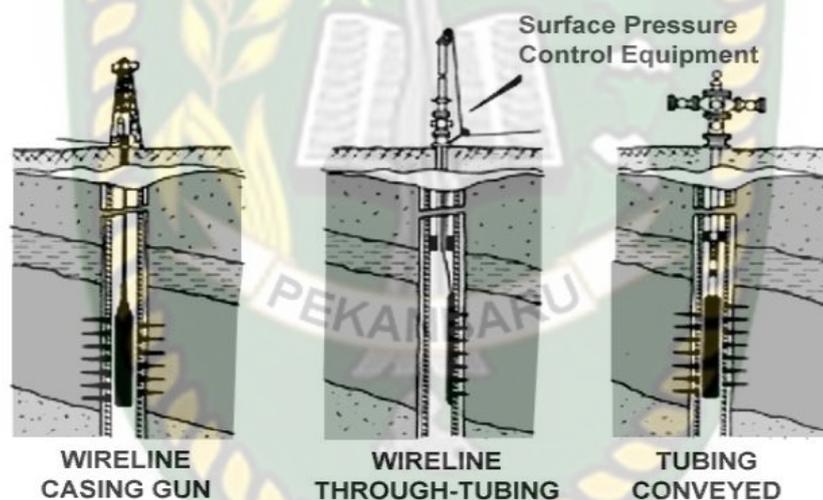
Keterbatasan Through Tubing System

- Kedalaman penetrasi akan lebih dangkan daripada sitem lain.

- Panjang pada perforasi saat sekali jalan dibatasi oleh peralatan permukaan (Perforating, n.d.)

Pada *study* yang dilakukan di Oman Selatan dalam operasi sumur horizontal dilakukan peninjauan opsi perforasi yang paling tepat. Peninjauan tersebut dilihat dari historis perforasi, stimulasi, dan produksi sumur. Kemudian ditinjau tiga metode perforasi sebagai berikut

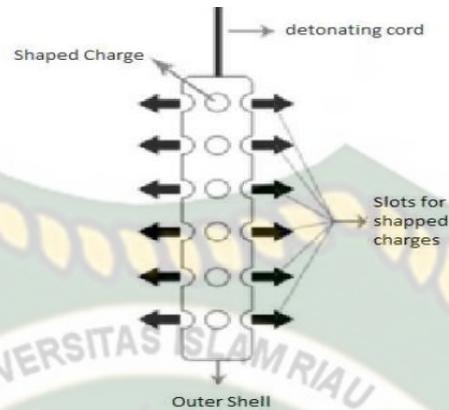
- Perforasi eksplosif dengan menggunakan pengangkutan dengan *tractor* atau *coil tubing conveyed*
- *Fishbone completion*
- Teknik *Abrasive jet perforating* (Moiseenkov et al., 2019)



Gambar 2. 6 *Perforated Casing Completion* (Teori, Dalam, Formation, & Merupakan, n.d.)

a. Pola Sederhana

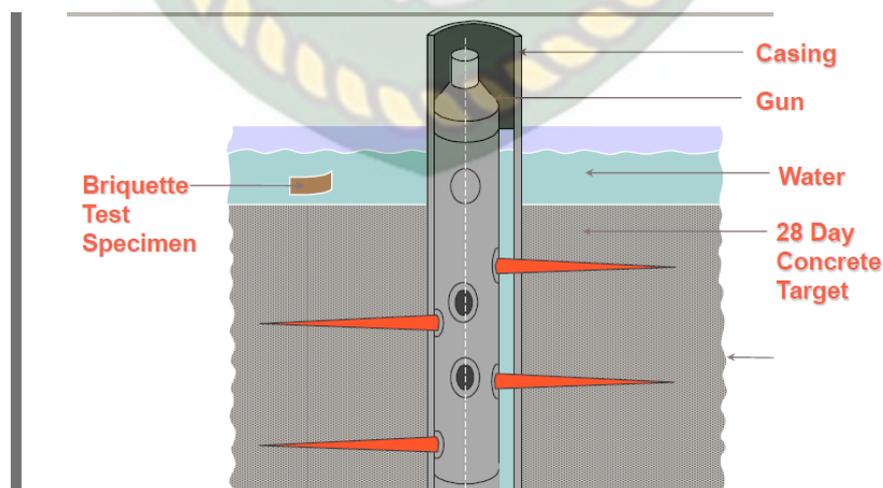
Pada pola sederhana ini, jumlah lubang perforasi yang digunakan sekitar 1-16 SPF, sangat cocok digunakan dalam mendesain sumur yang produksinya kurang besar.



Gambar 2. 7 Pola Sederhana Pada Perforasi (Galante, 2013)

b. Pola selang seling

Pola selang seling merupakan pola perforasi dengan jumlah lubang lebih banyak yang cocok untuk mendesain pada sumur *high rate*. Umumnya pola perforasi selang seling digunakan pada *high shoot density* sebagai mekanisme pada sumur yang permeabilitas tinggi. Pola ini tidak tepat jika digunakan pada kondisi formasi yang *low density* karena akan menyebabkan kerusakan formasi yang diakibatkan getarannya terlalu kuat. Kebanyakan pola selang seling digunakan melubangi casing dalam metode masalah kepasiran pada suatu sumur.

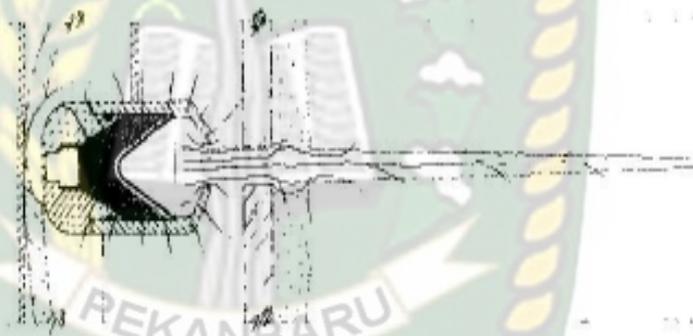


Gambar 2. 8 High Density Gun Pola Selang Seling (Hansen, n.d.)

2.5 Teknik dan Metode Eksekusi Perforasi

➤ *Jet perforator*

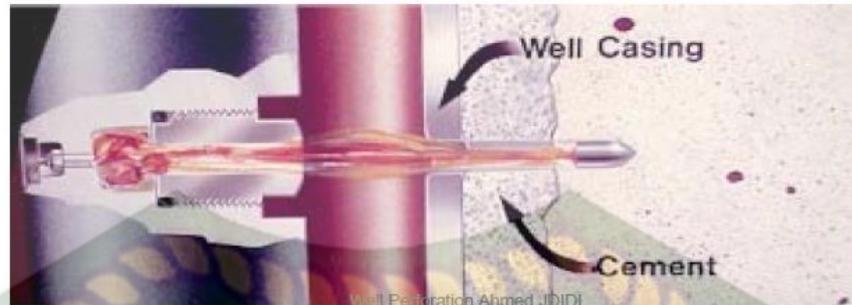
Jet perforator mempunyai beberapa port atau lubang yang ada pada tabung bajaberongga dengan jet charge yang kemudian disusun untuk melakukan penembakan melalui masing masing port. Sewaktu melakukan penembakan semua charge akan diledakkan di dalam gun dan dari panas hasil ledakan tersebut akan dilepaskan melalui port, sehingga jet perforator kemudian melubangi port, casing, semen dan formasi seperti yang terlihat pada gambar a. (Robinson, 1957)



Gambar 2. 9 Skematik Dari Jet Perforator (Robinson, 1957)

➤ *Bullet Perforator*

Gun body yang terdiri dari silinder panjang dan terbuat dari besi yang dilengkapi oleh alat kontrol dalam penembakan. Susunan gun akan ditempatkan pada interval yang telah ditentukan dan kemudian akan diturunkan dengan menggunakan *electric wireline cable*, kemudian kerja *gun* tersebut akan dikontrol di permukaan melalui *wireline* untuk melepaskan peluru satu per satu maupun dilepaskan secara serentak.



Gambar 2. 10 Skematik Dari Bullet Perforator (Perforation & Jdidi, n.d.)

➤ **Metode *Overbalance* dan *Underbalance***

metode *overbalance* ini dilakukan apabila kondisi tekanan dasar sumur (P_{wf}) lebih besar dibandingkan tekanan pada formasi (P_f). Metode *underbalance* dilakukan ketika (P_{wf}) lebih rendah daripada (P_f).

2.6 Tipe *perforating gun*

- *Casing gun*
Membuat lubang pada casing string, 3-5 diameter, dapat membawa 4 charge per foot dan dapat melakukan perforasi pada production casing dengan gun assembly berukuran lebih besar.
- *Expendable gun*
Rangkaian perforating gun akan hancur setelah firing menjadi serpihan serpihan, digunakan pada wellbore restriction terbatas seperti dalam penggunaan through tubing dan expendable gun cukup ringan dan sederhana
- *Retriavable gun*
Dapat diambil setelah firing, lebih sedikit menghasilkan serpihan distorsi badan peralatan minimal untuk memudahkan pengambilan kembali.
- *High shot density gun*
Memiliki > 4 spf kemudian menamah phase atau distribusi perforasi sekitar lubang sumur.

2.7 *State Of The Art*

Penelitian yang akan di angkat yaitu penelitian tentang evaluasi serta perencanaan suatu proses perforasi dengan desain dan eksekusi yang tepat seperti jenis *perforating gun* yang tepat, penetrasi, panjang lubang perforasi untuk meningkatkan laju alir fluida formasi seperti yang diharapkan (Apolianto & Mucharam, 2012). Proses perforasi yang akan dilakukan berdasarkan perhitungan dan analisa keadaan sumur dan kondisi reservoir, apakah formasi tersebut *consolidated* atau *unconsolidated* (Pratama et al., n.d.).

Kemudian penelitian selanjutnya yaitu menentukan perforated completion dengan menggunakan sistem yang bagaimana yang ssesuai dengan kondisi formasi, apakah dengan *Tubing Conveyed Perforaton* atau dengan *wireline coveyed* (Wilson, 2017).

Pada penelitian ini akan dilihat efek dari perforasi terhadap laju alir pada sumur dengan melakukan perhitungan skin pada sumur tersebut (Musnal, 2012).

Langkah Kerja Penentuan pola perforasi dan jenis perforator

1. Mempersiapkan data penunjang
 - Specific productivity index
 - Konfigurasi perforasi
 - Penetrasi perforasi
 - Jari jari pada daerah rusak
 - Geometri dari lubing perforasi
 - Permeabilitas zona yang rusak
 - Permeabilitas arah horizontal
 - Pola perforasi yang dinyatakan dengan sudut antar perforasi
 - Jari jari pengurasan pada sumur
 - Permeabilitas arah vertikal

- Viskositas
- Diameter perforasi
- Penetrasi pada formasi sebenarnya
- Compressive strength batuan sebenarnya

2. Jika suatu sumur dilakukan peforasi dengan *bullet perforator* maka rumus

$$\text{penetrasinya : } a_p = a_{pl} \left(\frac{C_1}{C}\right)^{1.15}$$

Namun apabila menggunakan *jet perforator* maka rumus penetrasi nya :

$$\ln a_p = \ln a_{pl} + 0.086 (C_1 - C) \cdot 10^{-3}$$

3. Menentukan geometri lubang dengan menggunakan persamaan

$$d_w = OD + 2 \times t_{\text{cement}}$$

4. Menentukan suatu perbandingan dari permeabilitas vertikal dan horizontal
5. Lalu harus melakukan penentuan pada panjang selang perforasi serta melakukan pilihan sudut perforasi agar dapat terpilihnya pola yang tepat, pola sederhana atau selang seling, dilihat dari tabel 1.
6. Dalam penentuan harga perforator skin, digunakan data dari panjang selang perforasi, geometri lubang, perbandingan permeabilitas dan penetrasi pada formasi yang dilihat dari gambar 3 dan 4.
7. Melakukan pengoreksian apabila diameter perforasi ½ inch dengan menggunakan gambar 5.
8. Jika terdapat *formation damage* akibat perforasi maka lakukan perbandingan antara permeabilitas *zona damage* dengan permeabilitas zona yang bagus, kemudian memperkirakan radius kerusakannya (r_s). Jika suatu perforasi berada pada daerah kerusakan maka pergunakan data b , d_w , e , a_p , k_s/k_r lihat grafik pada gambar 6 agar mendapatkan nilai s_d . Kemudian pergunakan kurva yang ada pada gambar 7 dan s_t nilai faktor skin damage diperoleh dengan melakukan penjumlahan $s_d + s_p$.
9. Menentukan productivity ratio suatu sumur minyak :

$$PR = \frac{q_p}{q_r} = \frac{\ln(0.47r_e/r_w)}{s_t + \ln(0.47r_e/r_w)}$$

10. Konfigurasi lain dapat dipergunakan dalam mencari perforasi yang paling tepat dan menguntungkan, yang paling menguntungkan tersebut artinya memiliki nilai specific productivity index yang lebih baik dari sebelumnya.



Dokumen ini adalah Arsip Miik :

Perpustakaan Universitas Islam Riau

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

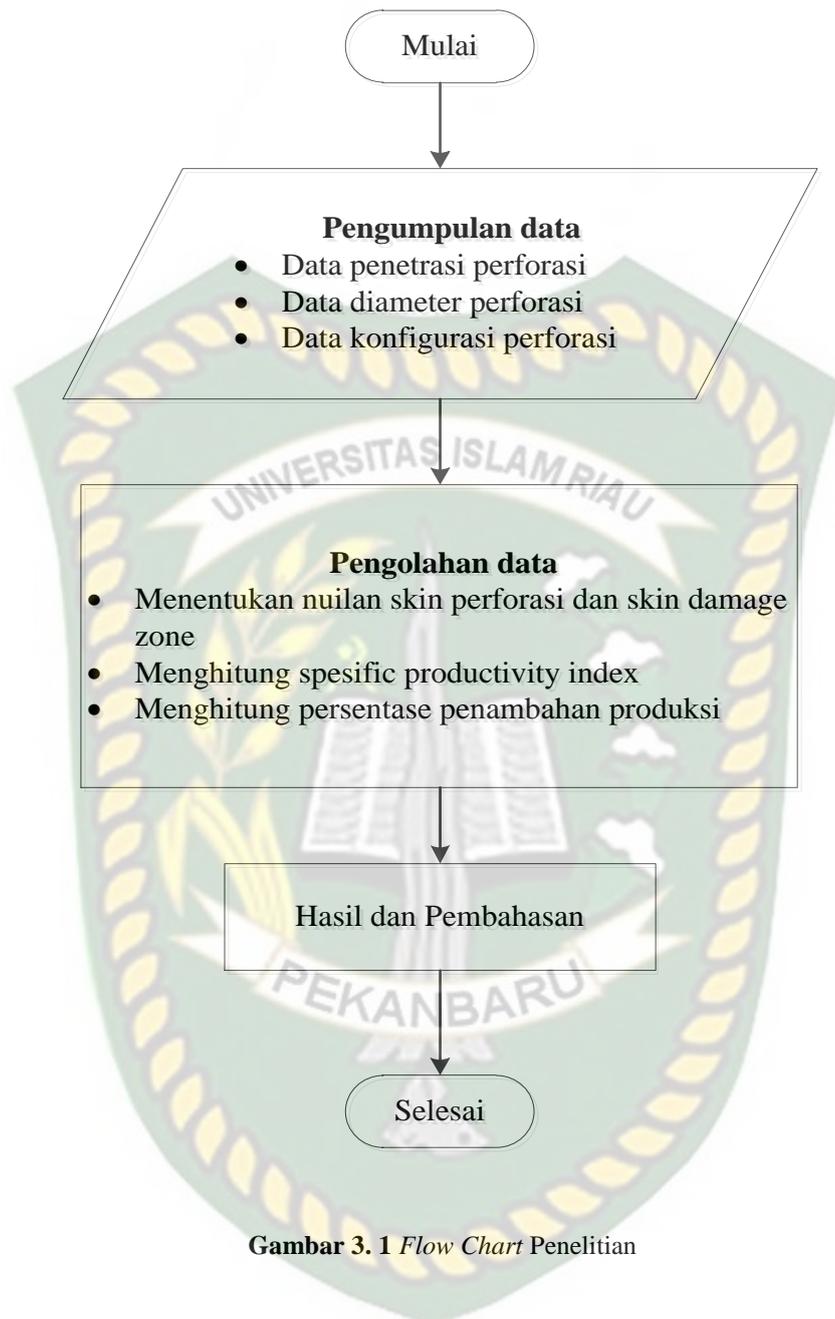
3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini akan dilakukan di suatu perusahaan oil company, metode yang digunakan yaitu *study case* pada lapangan. Data yang akan diperoleh merupakan data sekunder. Data tersebut seperti history well/produksi sumur, karakteristik sumur dan lapangan field history, kemudian data penetrasi perforasi, jari jari pengurasan sumur, jari jari zona yang rusak, data permeabilitas, viscositas serta diameter perforasi.

3.2 Metode Penelitian

Pada penelitian ini digunakan metode *Hong K.C* dalam memperhitungkan *specific productivity index* apabila sumur dilakukan dengan konfigurasi perforasi tertentu. Kemudian memperhitungkan interval perforasi, *compressive strength batuan*, permeabilitas horizontal dan vertikal.

3.3 Flow Chart



Gambar 3. 1 Flow Chart Penelitian

3.4 Waktu Pelaksanaan Penelitian

Waktu Penelitian dimulai pada minggu ke-1 Desember 2020 sampai minggu ke-4 Desember 2020. Dapat dilihat pada *gantt chart* dibawah ini

No	Deskripsi kegiatan	Desember			
		1	2	3	4
1	Pengumpulan data				
2	Pengolahan data				
3	Hasil dan pembahasan data				
4	Penulisan laporan				

3.5 Sejarah Singkat Perusahaan

Pengelolaan Lapangan Minyak Lirik (Japura Blok) pertama kali dipegang oleh SVPM (Standard Vaccum Petroleum Maatschappij). SVPM merupakan perusahaan minyak asal amerika serikat yang berkantor pusat di 26th, *Broadway New York City*, sedangkan di Indonesia berkantor di Sungai Gerong, Palembang, Sumatera Selatan. Kegiatan eksplorasi dimulai tahun 1925, lalu pada tahun 1936 dilakukan pengeboran sumur eksplorasi pertama. Sumur pertama yang menghasilkan minyak adalah sumur LR-003. Kemudian pada tanggal 13 Maret 1941 pada sumur LS-10 dilakukan tes awal dan menghasilkan 850 BOPD dengan kadar air 0%.

Tahun 1959 SVPM berubah nama menjadi PT Stanvac Indonesia. Pada tanggal 28 November 1983 lapangan ini dikembalikan ke Pertamina yang meliputi struktur Lirik, Sago, Molek, Andan, Belimbing, Ukui, Pondak dan Pulau. Kemudian, struktur Sago diserahkan ke JOB Pertamina – Lirik Petroleum pada tanggal 1 April 1994 dengan perjanjian kontrak EOR (Enhanced Oil Recovery). Masa kontrak berakhir pada bulan Maret 2006 dan namanya diubah menjadi Unit Bisnis EP (UBEP) Lirik.

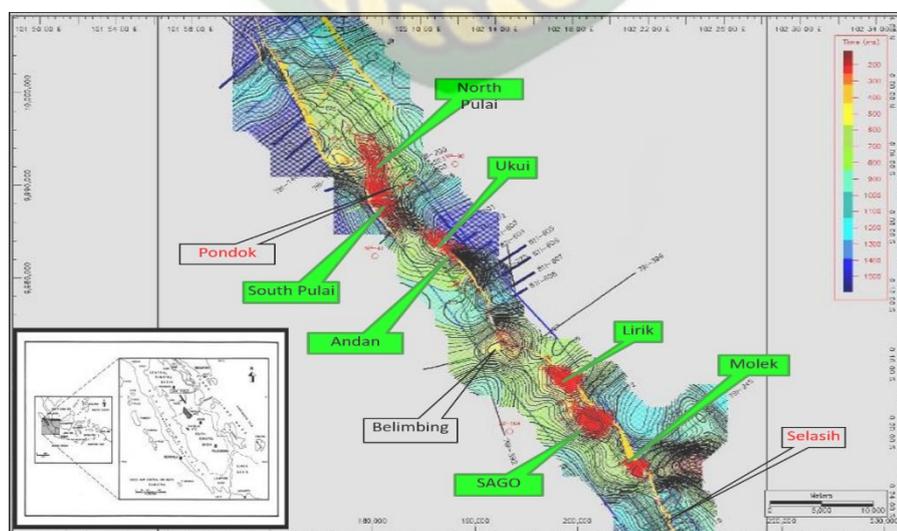
Pada Oktober 2009, Pertamina menyerahkan lapangan operasionalnya kepada UBEP Lirik yang meliputi struktur Lirik, Molek, dan Sago pada Distrik I yang memiliki 25 sumur produksi yang menggunakan sistem Sucker Rod Pump (SRP) dan 47 sumur produksi yang menggunakan sistem Electrical Submersible

Pump (ESP), serta struktur Andan, Ukui, South Pulai dan North Pulai pada Distrik II yang memiliki 16 sumur produksi yang menggunakan sistem Sucker Rod Pump (SRP) dan 16 sumur produksi yang menggunakan sistem Electrical Submersible Pump (ESP). sehingga UBEP Lirik mengelola total 104 sumur produksi.

Kemudian, pada Maret 2013 Unit Bisnis Pertamina EP Lirik berganti nama menjadi PT Pertamina EP Asset 1 Lirik Field, mengelola dua distrik operasional yaitu Distrik I dan Distrik II dengan struktur yang sama dengan sebelumnya. Pada Distrik I terdapat 51 sumur produksi menggunakan sistem ESP dan 20 sumur produksi menggunakan sistem SRP. Sedangkan di Distrik II terdapat 16 sumur produksi menggunakan sistem ESP dan 17 sumur produksi menggunakan sistem SRP. Dengan total 104 sumur produksi, Pertamina EP Lirik Field mendapatkan rata – rata produksi 2.097 barrel oil per day (BOPD).

3.6 Letak Geografis

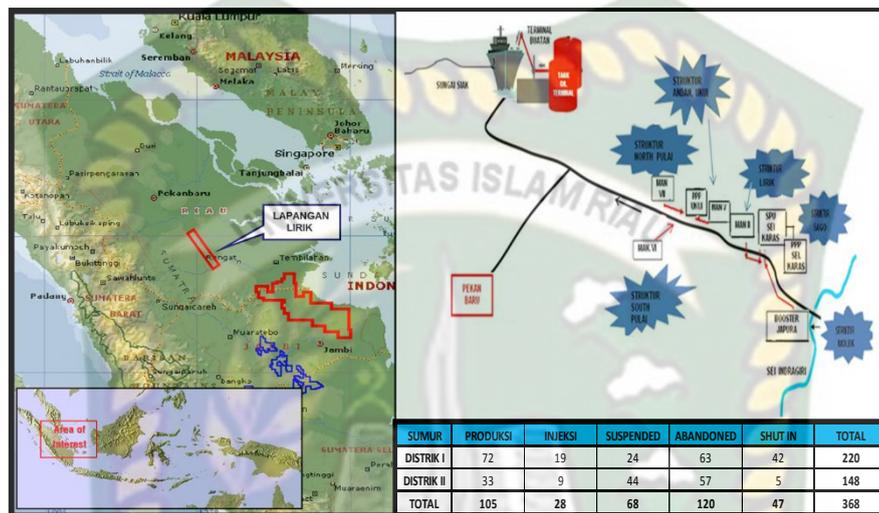
Lapangan yang dikelola oleh PT Pertamina EP Asset 1 lirik merupakan bagian dari struktur antiklin yang disebut sebagai *Lirik Trend*. Panjang dari struktur antiklin ini dari barat laut samoaai tenggara sebesar 50 km dan lebar 10 km. Lapangan ini berlokasi di Provinsi Riau, berjarak 140 km dari arah tenggara Pekanbaru dan 200 km dari arah barat laut arah Jambi. Secara geografis, lapangan Lirik terletak pada $0^{\circ}17'$ LS dan $102^{\circ}16'$ BT. Wilayah kerja yang dimiliki oleh PT Pertamina EP Asset 1 Lirik meliputi tiga kabupaten, yaitu kabupaten Indragiri Hulu, Pelalawan dan Siak.



Gambar 3. 2 Letak Geografis Field Lirik

3.7 Persebaran Fasilitas Operasi Produksi Lirik Field

PT Pertamina EP Asset 1 Lirik mengelola dua distrik. Distrik I terdapat struktur Lirik, Molek dan Sago sedangkan pada Distrik II terdapat Struktur Andan & Ukui, Nira & South Pulau dan North Pulau.



Gambar 3. 3 Persebaran Fasilitas Operasi Produksi Lirik Field

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Kunci dari operasi pada *well completion* terletak pada kegiatan perforasi yang dimana memiliki peran vital dalam produksi hydrocarbon dari reservoir. Perforasi merupakan kegiatan pembuatan lubang pada sumur untuk komunikasi fluida antara *casing* atau liner dengan reservoir (Shumakov, Munro, Hollaender, & Giordano, 2016). Perforasi adalah bagian dari kegiatan *workover* dan *completion*. Saat pengoperasiannya membutuhkan rangkaian alat seperti *explosive charges*, yang diturunkan kebawah sumur dengan menggunakan *electric conductor wireline cable* atau pada *tubing* dan *drillstring*. (Operated, 2017)

Dalam pembuatan lubang tersebut juga harus diperhatikan parameter pada perforasi seperti *shot per feet*, penetrasi perforasi, phasing perforasi. *Workover* bagi beberapa perusahaan adalah kegiatan operasi yang dimana melakukan perubahan struktur dari sumur. Menambah perforasi memasang *bridge plugs* pada liner untuk mengisolasi air yang tidak di inginkan, atau berbagai perawatan stimulasi, semua ini diklasifikasikan sebagai operasi *workover*.

Workover sendiri dibagi menjadi dua jenis yaitu *workover* konvensional dan *workover rigless*. Dalam jenisnya metode *workover rigless* juga memiliki 3 jenis, yakni : *wireline unit*, *coiled tubing unit*, dan *hydraulic workover*. (Allen & Worzel, 1948) Pemilihan teknik dan peralatan pada metode *workover rigless* dengan pengaplikasiannya pada *downhole* dapat menentukan kesuksesan pekerjaan *workover* sumur dari sisi mekanik dan ekonomi.

Pada studi pemilihan jenis perforator ini agar lebih efisien maka akan dilakukan sensitivitas pada beberapa variabel seperti interval perforasi, *shot per feet* dan phasing perforasi. Kemudian beberapa faktor yang akan menentukan efisiensi dari perforasi tersebut yaitu kondisi sumur, geometri perforasi, kerusakan pada formasi, menghitung *specific productivity index* dengan metode Hong.K.C.

4.1 High Shoot Density

High shoot density adalah salah satu kegiatan perforasi dimana kegiatan ini dilakukan pada sumur dengan kondisi *overbalance* yaitu dimana tekanan hidrostatik lebih besar dari tekanan formasi. (Johnson, Bakker, Nam, & Hungerford, 1998)

Prinsip kerja HSD pada saat running peralatan HSD, korelasi collar casing dilakukan mulai dari top depth. Setelah dikolerasi maka dapat segera ditentukan posisi shooting depth. Shooting depth tidak boleh berada di daerah collar karena dapat memutuskan susunan casing pada ruang sumur.

Setelah *shooting depth* di dapat kemudian arus listrik di alirkan dari unit melalui *wireline* keperalatan HSD. Arus listrik sebesar 0.4 – 0.5 ampere akan mengaktifkan white deto yang berhambatan 52 – 54 ohm yang kemudian akan memicu primacord. Primacord tersebut kemudian akan meledak dan memberi tekanan besar pada charge dan charge akan meledak dan menembak sehingga *casing*, semen dan formasi dapat terlubangi.

Peralatan HSD yang digunakan :

1. PEH A/B
2. CAL-B (*CASING ANOMALY LOCATOR*)
3. *Bottom nose*
4. Carrier

Bahan peledak yang digunakan pada kegiatan HSD ada dua jenis yaitu *primary explosive* dan *secondary explosive*.

Primary explosive memiliki karakteristik mudah meledak tetapi berdaya ledak rendah, bahan peledak *primary explosive* pada HSD terdiri dari detonator dan primacord.

Detonator berfungsi sebagai pemacu dimana alat ini dapat meledak apabila dialiri arus sebesar 0.4 – 0.7 ampere dan detonator tersebut memiliki hambatan sebesar 52- 54 ohm. Jenis detonator yang digunakan disebut *white deto*.

Primacord, sebenarnya bahan peledak ini masuk dalam kategori *secondary explosive* tetapi karena pada kegiatan HSD peledak ini berperan sebagai pemacu charge maka peledak ini dimasukkan pada *primary explosive*. Bahan peledak ini berbentuk seperti kabel dan sensitif terhadap tekanan besar.

Sedangkan pada *secondary explosive* memiliki karakteristik yang berlawanan dengan *primary explosive* dimana *secondary explosive* ini tidak mudah meledak jika terkena tekanan kecil tetapi memiliki daya ledak besar.

4.2 Data sumur x lapangan y

ITEM	VALUE
Konfigurasi perforasi (banyaknya lubang/feet)	4
Penetrasi perforasi (inchi)	8
Jari jari daerah rusak atau zona damage rs (inchi)	16
Permeabilitas daerah rusak (ks)	0.25
Permeabilitas horizontal (kr)	0.6
Jenis pola	simple pattern
Phasing perforasi	90°
Jari jari pengurusan sumur (re)	100
Viscositas minyak	6
Diameter perforasi (inchi)	0.5
compressive strength batuan (psi)	900 – 1000
tebal semen	1.31
diameter lubang sumur (inchi)	7
depth well (feet)	1575
Interval (feet)	1459 – 1464
Temperatur	179°F

Tabel.1

Dari data tersebut di dapatkan nilai productivity index spesifik 0.129 B/D/psi/ft di hitung dengan menggunakan metode Hong.K.C, kemudian didapatkan nilai damage skin factor 1.1 dengan memplot grafik gambar.5 dan nilai *perforation skin factor* untuk ½ inchi sebesar -0.4 dengan memplot grafik gambar.3. Selanjutnya dilakukan penjumlahan antara nilai *damage skin factor* dan *perforation skin factor* maka di dapatkan nilai factor skin akibat pemboran sebesar 0.7. Kemudian untuk nilai *productivity ratio* didapatkan nilainya sebesar 0.87.

4.3 Hasil dari perhitungan reperforasi

Parameter	Perforasi baru
Damage skin factor (Sd)	1.8
Perforation skin factor (Sp)	-0.6
Jumlah lubang per feet (SPF)	4
Skin factor akit pemboran (St)	1.2
Penetrasi perforasi (ap) inchi	8
Spesific productivity index (B/D/psi)	0.193
Productivity ratio	0.79

Tabel.2

Pada reperforasi yang dilakukan didapatkan hasil seperti pada tabel di atas dengan melakukan perubahan pada phasing perforator yaitu 180° , penentuan *perforation skin factor* dengan memplot grafik gambar 4. kemudian menggunakan *staggered pattern*, maka persentase penambahan produksi diperoleh sebesar 49%.

Parameter	Perforasi baru
Damage skin factor (Sd)	0.2
Perforation skin factor (Sp)	-0.72
Jumlah lubang per feet (SPF)	4
Skin factor akit pemboran (St)	-0.52
Penetrasi perforasi (ap) inchi	11
Spesific productivity index (B/D/psi)	0.166
Productivity ratio	1.12

Tabel.3

Pada reperforasi yang akan dilakukan didapatkan hasil seperti pada tabel di atas dengan melakukan perubahan pada phasing perforator yaitu 180° , kemudian menggunakan *staggered pattern* dan perforasi melampaui *zona damage* sepanjang tiga inci maka penetrasi dirubah menjadi 11 inci, maka persentase penambahan produksi yang akan diperoleh sebesar 29 %.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil perhitungan dan pembahasan pemilihan perforator dan pola perforasi dapat di ambil beberapa kesimpulan :

1. Pola perforasi yang tepat pada operasi reperforasi pada sumur X lapangan Y yaitu dengan menggunakan pola selang seling atau staggered pattern, dengan phasing perforator 180° , dan menggunakan *High Shot Density Gun*.
2. Pengaruh reperforasi atau penambahan perforasi dapat dilihat dari nilai specific productivity index sebesar 0.193 B/D/psi/ft dimana sebelumnya nilainya sebesar 0.129 B/D/PSI/FT, kemudian persentase produktivitas sebesar 49%.

5.2 Saran

Dalam penelitian ini penulis menentukan pola metode grafis Hong K.C. dengan penentuan pola perforasi dan jenis perforator pada sumur X lapangan Y. Disarankan pada peneliti selanjutnya untuk meneruskan penelitian setelah operasi perforasi atau reperforasi berhasil dilakukan, dengan melakukan penelitian analisa aliran variasi untuk melengkapi penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Albert, L., Frasure, G., & Services, A. W. (n.d.). *Improved Frac Efficiency Using FocusShot TM Perforating*. 8–15.
- Alexandri, A. (n.d.). *Peran Penting Perencanaan Kompleksi Formasi dalam Keberhasilan Kompleksi Sumur*. 19–27.
- Allen, T., & Worzel, H. C. (1948). *Productivity Method of Evaluating Gun Perforating* ;
- Apolianto, E., & Mucharam, L. (2012). Evaluasi perencanaan dan hasil perforasi berdasarkan target performa lapangan x. *SPE Annual Technical Conference and Exposition, XIX(1)*, 13–26. <https://doi.org/10.2118/115258-MS>
- Burky, T., Craddock, G. G., & Lavery, J. (2018). Perforation performance simulation in complex multicasing scenarios. *Society of Petroleum Engineers - SPE Symposium: Decommissioning and Abandonment 2018*, (December), 3–4. <https://doi.org/10.2118/193964-ms>
- Galante, E. (2013). Application of Explosives in the Oil Industry. *International Journal of Oil, Gas and Coal Engineering*, 1(2), 16. <https://doi.org/10.11648/j.ogce.20130102.11>
- Hansen, B. (n.d.). Casing Perforating Overview. *Devon Energy Corporation*. Retrieved from <http://water.epa.gov/type/groundwater/uic/class2/hydraulicfracturing/upload/casingperforatedoverview.pdf>
- Johnson, A. M., Bakker, E. R., Nam, B. V., & Hungerford, K. (1998). *SPE 50407 Improved Productivity Justifies World Record Underbalanced Perforating Operation*. 1–12.
- Li, B., Sun, D., Gladkikh, M., & Wu, J. (2012). 2D analytical solution of ideal perforation flow. *SPE Journal*, 17(2), 631–652. <https://doi.org/10.2118/128021-PA>
- Liu, H., Wang, F., Wang, Y., Gao, Y., & Cheng, J. (2014). Oil well perforation technology: Status and prospects. *Petroleum Exploration and Development*, 41(6), 798–804. [https://doi.org/10.1016/S1876-3804\(14\)60096-3](https://doi.org/10.1016/S1876-3804(14)60096-3)
- Locke, S. (1981). Advanced Method for Predicting the Productivity Ratio of a

- Perforated Well. *JPT, Journal of Petroleum Technology*, 33(12), 2481–2488. <https://doi.org/10.2118/8804-PA>
- Moiseenkov, A., Al Hadhrami, A., Shabibi, H., Smirnov, D., Busaidi, Y., Nabhani, Y., ... Al-Jabri, A. (2019). *Abrasive Jet Perforation: Successful Deployment of Novel Technique to Enhance Production and Promote Savings*. <https://doi.org/10.2118/197720-ms>
- Musnal, A. (2012). Analisa Kerusakan Formasi Akibat Pekerjaan Perforasi Dengan Menggunakan Metoda Yildiz Pada Sumur Fr 168, Sumur 154, Dan Sumur 148 Di Lapangan X. *Journal of Earth Energy Engineering*, 1(1), 9. <https://doi.org/10.22549/jeee.v1i1.924>
- Musnal, A. (2014). Perhitungan Laju Aliran Fluida Kritis Untuk Mempertahankan Tekanan Reservoir Pada Sumur Ratu Di Lapangan Kinantan. *Journal of Earth Energy Engineering*, 3(1), 1. <https://doi.org/10.22549/jeee.v3i1.934>
- Operated, N. (2017). *SPE-189154-MS A Successful Rigless Water Shut Off and Reperforation Operations - A Case Study in NPDC Operated Field*. (3), 1–16.
- Perforating, A. C. (n.d.). *SPE 14686 A Combined Perforating and Well Testing System*.
- Perforation, W., & Jdidi, A. (n.d.). *Purposes of Perforation • Creating a channel between the pay*.
- Pratama, E., Teknik, S., Fakultas, P., & Kebumian, T. (n.d.). *Pemilihan Metode Perforasi Berdasarkan Jenis dan Kondisi Batuan Reservoir*. (07109080).
- Ramud, H. M., & Triyono, W. (2017). *INTERGRASI DATA SEISMIK 3D TERIKAT DENGAN DATA LOG UNTUK KARAKTERISASI RESERVOIR HIDROKRABON DI ZONA*. 1(1), 23–29.
- Robinson, R. L. (1957). Temperature Effect on Formations During Jet Perforating. *Journal of Petroleum Technology*, 9(05), 12–14. <https://doi.org/10.2118/681-g>
- Shumakov, Y., Munro, J., Hollaender, F., & Giordano, P. (2016). *SPE-183282-MS Acoustic Firing for Intelligent Reservoir Perforation*. (November), 7–10.
- Teori, D., Dalam, P., Formation, M., & Merupakan, C. (n.d.). *Gambar 2.1*.
- Tewari, R. D., Malik, M., Ali, A. H. A., & Naganathan, S. (2005). *SPE 97649*

Improved Heavy Oil Recovery from Thin Reservoirs through Horizontal Well Placement and Intelligent Perforations.

Tobing, E. M. L. (2007). *Analisis Produktivitas Sumur Diperforasi Menggunakan Persamaan Kurva IPR Aliran Dua Fase*. 41(2), 44–52.

Wilson, A. (2017). Perforation and Flowback Highlights From the Gorgon Field, Offshore Australia. *Journal of Petroleum Technology*, 69(11), 63–65. <https://doi.org/10.2118/1117-0063-jpt>

