

**ANALISIS PERFORASI METODE *SHAPED CHARGES* PADA
PERGANTIAN ZONA PRODUKSI LAPISAN X SUMUR Y-02
MENGUNAKAN SOFTWARE *PIPESIM***

TUGAS AKHIR

Diajukan guna melengkapi syarat dalam mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh

HEZA RESTUNIAWAN

NPM 163210165



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

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas akhir ini disusun oleh :

Nama : Heza Restuniawan

Npm : 163210165

Program Studi : Teknik Perminyakan

Judul Tugas Akhir : Analisis Perforasi Metode *Shaped Charges* Pada Pergantian Zona Produksi Lapisan X Sumur Y-02 Menggunakan Software Pipesim

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 : Novrianti, ST., MT (.....)

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

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

Ditetapkan di : Pekanbaru

Tanggal :

Disahkan oleh:

**KETUA PROGRAM STUDI
TEKNIK PERMINYAKAN**

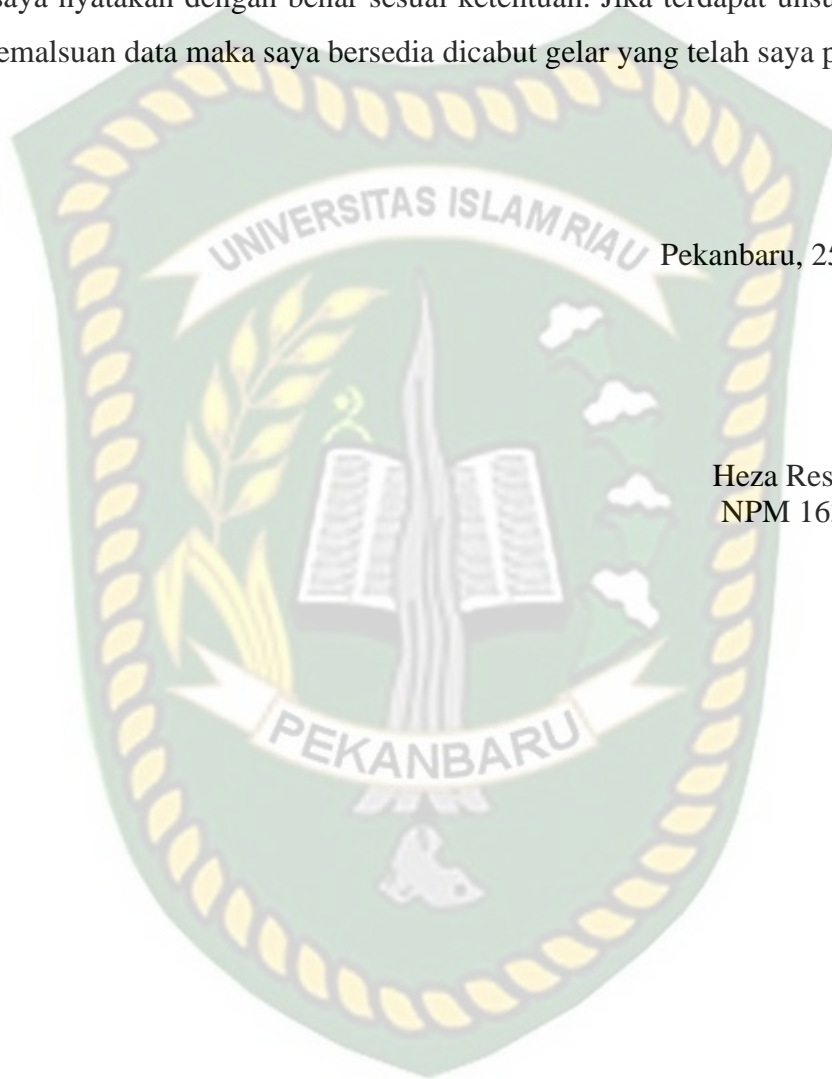
Novia Rita, ST., MT

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa tugas akhir ini merupakan karya saya sendiri dan semua sumber yang tercantum didalamnya baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar sesuai ketentuan. Jika terdapat unsur penipuan atau pemalsuan data maka saya bersedia dicabut gelar yang telah saya peroleh.

Pekanbaru, 25 Juni 2021

Heza Restuniawan
NPM 163210165



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. Saya menyadari bahwa banyak pihak yang telah membantu dan mendorong saya untuk menyelesaikan tugas akhir ini serta memperoleh ilmu pengetahuan selama perkuliahan. Oleh karena itu saya ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Novrianti, ST., MT selaku dosen pembimbing tugas akhir dan Ibu Dr. Mursyidah, M.Sc selaku dosen pembimbing akademik yang mana keduanya telah memberikan nasihat serta arahan selama menjalani perkuliahan maupun dalam penyelesaian tugas akhir.
2. Bapak Khoirul Dwi Septianto selaku pembimbing lapangan yang telah memberikan kesempatan untuk pengambilan data dan bersedia membimbing serta memberikan arahan untuk tugas akhir saya.
3. Ketua program studi Teknik Perminyakan 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.
4. Kedua orang tua Bapak Hely dan Ibu Rojiana serta keluarga yang senantiasa memberikan restu dan dukungan penuh terhadap saya.
5. Teman-teman seperjuangan Teknik Perminyakan Angkatan 2016 terkhusus kelas 16A serta teman teman Futsal Teknik UIR yang telah memberikan semangat.

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

Pekanbaru, 25 Juni 2021

Heza Restuniawan

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vi
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR SINGKATAN.....	viii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 LATAR BELAKANG.....	1
1.2 TUJUAN PENELITIAN.....	3
1.3 MANFAAT PENELITIAN	3
1.4 BATASAN MASALAH.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 PENELITIAN SEBELUMNYA.....	4
2.2 PERFORASI	5
2.3 DENSITAS PERFORASI.....	6
2.4 SUDUT PERFORASI (PHASE ANGLE).....	7
2.5 PEMILIHAN PELEDAK (<i>GUN</i> PERFORASI)	7
2.6 SOFTWARE PIPESIM.....	8
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	9
3.1 METODE PENELITIAN	9
3.2 DIAGRAM ALIR PENELITIAN.....	11
3.3 JADWAL PENELITIAN	12
3.4 TINJAUAN LAPANGAN	13
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	15
4.1. PEMODELAN SUMUR.....	15
4.2. DESIGN PERFORASI	17
4.3. ESTIMASI NILAI SKIN.....	18
4.4. MENENTUKAN FLOWRATE SUMUR	19
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	21
5.1. KESIMPULAN	21
5.2. SARAN.....	21
DAFTAR PUSTAKA.....	22

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1. Peta Regional Cekungan Sumatera Selatan (Bishop, 2001).....	14
Gambar 4. 1 Wellbore Diagram	16
Gambar 4. 2 Grafik Mechanical Skin Sumur Y-02	18
Gambar 4. 3 Grafik laju alir 6 spf 60° phase angle.....	20
Gambar 4. 4 Nodal analysis 6 spf 60° phase angle.....	20



DAFTAR TABEL

Table 3.1 Data Design Perforasi	9
Table 4.1 Well Tubulars Data	16
Table 4.2 Well Data.....	17



Dokumen ini adalah Arsip Miik :
Perpustakaan Universitas Islam Riau

DAFTAR SINGKATAN

Bbl/day	<i>Barrel per day</i>
Dp	<i>Diameter of perforation</i>
Ft	<i>Feet</i>
HMX	<i>Higher molecular explosives</i>
HSD	<i>High shot density</i>
ID	<i>Inside diameter</i>
in	<i>Inch</i>
lbm	<i>Pound mass</i>
Lp	<i>Length of perforation</i>
m	<i>Meter</i>
mD	<i>Millidarcy</i>
OD	<i>Outside diameter</i>
ppf	<i>Pounds per feet</i>
psia	<i>Pounds per square inch absolute</i>
pwf	<i>Bottom hole flowing pressure</i>
q	<i>Flowrate</i>
RDX	<i>Research Department Composition Explosives</i>
Spf	<i>Shots per feet</i>
STB	<i>Stock tank barrel</i>



**ANALISIS PERFORASI METODE *SHAPED CHARGES* PADA
PERGANTIAN ZONA PRODUKSI LAPISAN X SUMUR Y-02
MENGUNAKAN SOFTWARE PIPESIM**

HEZA RESTUNIAWAN

NPM 163210165

ABSTRAK

Sumur Y-02 mengalami penurunan laju alir produksi dimana berdasarkan hasil analisis pada sumur tersebut, ditemukan masalah yaitu zona produksi yang telah mencapai *economic limit* nya, sehingga untuk menaikkan kembali laju alir produksi perlu dilakukan pergantian zona produksi pada sumur tersebut. Pergantian zona produksi pada sumur migas bisa dilakukan dengan cara perforasi. Perforasi dilakukan dengan membuat lubang pada casing melewati semen sehingga fluida dari formasi dapat mengalir ke sumur. Perforasi yang dilakukan pada sumur Y-02 menggunakan metode *shaped charges* dimana pada metode ini perforasi dilakukan dengan menggunakan bahan peledak berdaya ledak tinggi untuk memberikan efek *pressure punch* sehingga menciptakan efektifitas pelubangan terhadap *piercing* baja, semen dan batuan pada saat melakukan perforasi. Selain dari metode yang tepat, pemilihan nilai densitas perforasi dan *phase angle* juga perlu dilakukan analisis agar mendapatkan hasil perforasi yang optimal. Penelitian ini menganalisis pengaruh antara densitas perforasi 3 *spf*, 4 *spf* dan 6 *spf* dengan *phase angle* 60°, 120° dan 45/135° terhadap keberhasilan perforasi yang ditandai oleh nilai skin terendah. Design perforasi pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan software *pipesim*. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, didapat hasil nilai skin terendah yang ditunjukkan oleh skema perforasi dengan densitas perforasi 6 *spf* dan *phase angle* 60°. Selain itu peneliti juga melakukan analisis nodal guna menentukan *flowrate* sumur Y-02. Nilai *flowrate* yang didapat setelah melakukan analisis nodal adalah 593.587 STB/day dengan *pressure at nodal analysis point* 444.8437 psia.

Kata kunci: *change layer, shaped charges, phase angle, flowrate.*

**PERFORATION ANALYSIS OF SHAPED CHARGES METHOD ON
CHANGING PRODUCTION ZONE LAYER X WELL Y-02 USING PIPESIM
SOFTWARE**

HEZA RESTUNIAWAN

NPM 163210165

ABSTRACT

Well Y-02 experienced a decrease in the production flow rate where based on the results of the analysis on the well, a problem was found, namely the production zone that has reached its economic limit, so to increase the production flow rate it is necessary to change the production zone in the well. Changing production zones in oil and gas wells can be done by perforating. Perforation is done by making a hole in the casing through the cement so that the fluid from the formation can flow into the well. The perforation carried out on the Y-02 well uses the shaped charges method where in this method the perforation is carried out using high explosive explosives to provide a pressure punch effect so as to create an effective perforation against steel, cement and rock piercing when perforating. Apart from the right method, the selection of perforation density values and phase angle also needs to be analyzed in order to obtain optimal perforation results. This study analyzed the effect of perforation density 3 spf, 4 spf and 6 spf with phase angles of 60°, 120° and 45/135° on the success of the perforation which was indicated by the lowest skin value. The design of the perforations in this study was carried out using the pipesim software. Based on the research that has been done, the lowest skin value is shown by the perforation scheme with a perforation density of 6 spf and a phase angle of 60°. In addition, researchers also conducted a nodal analysis to determine the flowrate of the Y-02 well. The flowrate value obtained after performing the nodal analysis is 593,587 STB/day with a pressure at nodal analysis point of 444.8437 psia.

Keywords: change layers, shaped charges, phase angle, flowrate.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Permasalahan yang paling sering ditemui di setiap lapangan minyak adalah berkurangnya laju alir produksi (Guo et al., n.d.). Permasalahan itu bisa disebabkan oleh masalah yang ada pada mekanisme sumur maupun dari reservoir itu sendiri. Setiap reservoir pasti memiliki beberapa lapisan dan pada setiap lapisan yang ada pada reservoir itu memiliki masa produktivitas yang berbeda beda antara satu dan yang lainnya (Tong et al., 2017). Seiring berjalannya waktu, lapisan yang berproduksi akan mencapai batas produksinya. Jika hal itu terjadi maka perusahaan bisa mengantisipasi dengan melakukan kerja ulang pindah lapisan dengan maksud untuk meningkatkan produksi yang terdapat pada lapisan reservoir lainnya (Yang et al., 2019). Kerja ulang pindah lapisan dapat dilakukan dengan cara menutup lapisan lama dan membuka zona atau lapisan baru dengan melakukan perforasi pada zona yang telah ditentukan (Gomez et al., 2013).

Perforasi dilakukan dengan membuat lubang pada casing, melewati semen sehingga fluida dari formasi dapat mengalir ke sumur (Level, 2013). Sebelum dilakukan perforasi, pemilihan metode yang tepat dan sesuai dengan kondisi reservoir yang ada perlu diperhatikan agar memperoleh tingkat keberhasilan yang tinggi dalam pelaksanaannya. Menurut Leal et al., (2014) terdapat beberapa metode yang bisa digunakan dalam melakukan perforasi. Metode perforasi yang umum digunakan antara lain adalah metode *bullet gun perforator* dan metode *jet perforator* atau *shaped charges*. Metode *bullet gun perforator* dalam penggunaannya masih menghasilkan tingkat penetrasi yang dangkal dan hanya bisa digunakan dengan densitas perforasi yang rendah. Sehingga pada masa sekarang ini, metode *shaped charges* merupakan metode yang paling sering digunakan dalam kegiatan perforasi. Dengan digunakannya *explosives* sebagai perforator, metode *shaped charges* dianggap paling mudah dalam penggunaannya serta dapat digunakan dalam berbagai macam kondisi. Metode *shaped charges* dalam proses perforasi menggunakan bahan peledak dengan daya tinggi untuk memberikan efek *pressure punch* sehingga menciptakan efektifitas yang tinggi terhadap *piercing*

baja, semen dan batuan pada saat melakukan perforasi (Zuklic et al., 2017). Metode *Shape Charges* ini memulai proses perforasi dengan melakukan pengapian pada *initiator* atau *detonator cap* yang menggabungkan kabel ledakan pada energi tinggi yang dilanjutkan dengan inisiasi muatan (Satti et al., 2017). Perforasi yang optimal selain dipengaruhi oleh metode yang digunakan, juga dipengaruhi oleh banyaknya densitas perforasi yang digunakan serta *phase angle* yang beragam, oleh karena itu penentuan densitas perforasi dan *phase angle* juga perlu diperhatikan untuk mencapai keberhasilan perforasi yang diinginkan.

Sumur Y-02 memiliki beberapa lapisan yang mengandung *hydrocarbon* yang bisa di produksi. sehingga setelah lapisan sebelumnya diidentifikasi mengalami penurunan produksi karena sudah mencapai *economic limit* dan evaluasi formasi menunjukkan bahwa adanya lapisan yang masih bisa di produksi yaitu lapisan X maka akan dilakukan kerja ulang pindah lapisan pada sumur tersebut. Design dan pemilihan metode perforasi perlu dilakukan secara teliti untuk meminimalisir kesalahan agar lapisan baru yang akan dibuka tidak mengalami permasalahan lubang sumur dan dapat berproduksi dengan baik (Novrianti, 2017). Penelitian ini dilakukan untuk melakukan design perforasi di sumur Y-02 serta menganalisis pengaruh dari perubahan *phase angle* dan densitas perforasi terhadap keberhasilan metode *shaped charges* yang dipilih sebagai metode perforasi pada sumur Y-02. Metode *shaped charges* ini dipilih karena fokus dari *pressure punch* memberikan efektifitas tinggi pada *piercing* baja, semen, dan batuan serta bisa digunakan pada perforasi dengan densitas perforasi lebih banyak. Adapun pada penelitian ini, peneliti akan melakukan design perforasi dengan menggunakan software *pipesim*. Harapannya penelitian ini bisa mengetahui hal yang mempengaruhi tingkat keberhasilan perforasi seperti perubahan densitas perforasi atau perubahan *phase angle* serta bisa meningkatkan kembali produksi pada Sumur Y-02 setelah dilakukannya kerja ulang pindah lapisan.

1.2 TUJUAN PENELITIAN

Adapun tujuan penelitian dari tugas akhir ini adalah:

1. Menentukan nilai skin terendah dari design perforasi pada *phase angle* 60° , 120° dan $45^\circ/135^\circ$ dengan densitas perforasi (*shots per ft*) 3 *spf*, 4 *spf*, dan 6 *spf* untuk sumur Y-02.
2. Analisis nilai skin yang diperoleh berdasarkan nilai *phase angle* 60° , 120° dan $45^\circ/135^\circ$ dan densitas perforasi (*shots per ft*) 3 *spf*, 4 *spf*, dan 6 *spf* dari keseluruhan design perforasi yang dilakukan dengan software pipesim.
3. Menentukan nilai *flowrate* berdasarkan nilai skin terendah pada sumur Y-02.

1.3 MANFAAT PENELITIAN

Penelitian ini diharapkan dapat:

1. Pengkayaan materi untuk mata kuliah problematika produksi terkait perforasi.
2. Memberikan gambaran dan pengetahuan tentang proses serta hasil perforasi dengan menggunakan metode *shaped charges*.
3. Hasil penelitian ini dapat dijadikan sebagai karya ilmiah yang dipublikasikan baik secara nasional maupun internasional.

1.4 BATASAN MASALAH

Agar penelitian ini tidak keluar dari tujuan yang diharapkan, maka Batasan penelitian ini akan difokuskan pada hal berikut:

1. Penelitian ini hanya fokus pada perancangan perforasi untuk lapisan X sumur Y-02 dan tidak membahas tentang evaluasi formasi pada sumur tersebut.
2. Hanya melakukan design perforasi dengan *perforation density* 3 *spf*, 4 *spf*, 6 *spf* dan *phase angle* 60° , 120° , $45^\circ/135^\circ$.
3. Melakukan design perforasi dengan menggunakan software *Pipesim*.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Sebagaimana telah diterangkan dalam Al-Qur'an surah Al-Jatsiyah ayat 29 yang artinya: Ini lah kitab (catatan) Kami yang menuturkan kepadamu dengan (Haq) benar. Sesungguhnya kami telah menyuruh mencatat apa yang telah kamu kerjakan. (Qs: Al-Jatsiyah (45): 29). Dalam ayat Al-Qur'an diatas dapat diambil tafsir bahwa Allah telah memberikan kita kitab atau petunjuk yang benar atau Haq yang dimana juga malaikat selalu mencatat apa yang telah kita perbuat. Maka dari itu hendaknya kita selalu berbuat kebaikan, termasuk dalam hal menuntut ilmu. Selain itu, pembuatan laporan penelitian merupakan salah satu cara untuk mencatat seluruh ilmu yang diperoleh sehingga bisa dibaca dan dipelajari oleh orang lain. Pada penelitian ini, dilakukan design perforasi menggunakan software *pipesim* dengan variasi densitas perforasi 3 *spf*, 4 *spf*, dan 6 *spf* dan *phase angle* 60°, 120°, dan 45°/135° untuk sumur Y-02.

2.1 PENELITIAN SEBELUMNYA

Pada penelitian sebelumnya, Baumann et al., (2013) melakukan pengurangan beban *gunshock* pada perforasi. Pada saat melakukan pekerjaan perforasi di sumur bertekanan tinggi, segala resiko harus diminimalisir, termasuk resiko kerusakan alat akibat beban tembak. Pada penelitian itu menjelaskan tentang bagaimana memprediksi saat beban *gunshock* menerima beban lebih besar dari beban yang dapat diterima. Hasilnya menunjukkan bahwa pada pelaksanaannya Baumann et al., (2013) menambahkan pelindung pada jarak yang tepat dari perforator untuk mencegah kerusakan pada alat, tetapi selalu disarankan untuk mensimulasikan pekerjaan perforasi setiap kali diperkirakan ada beban yang lebih besar akibat proses ledakan yang terjadi.

Kemudian Eltygani et al., (2018) dalam penelitiannya di lapangan Fula North-Sudan menjelaskan bahwa sumur yang berproduksi lebih tinggi dari batas menengah secara historis memiliki produksi pasir yang lebih tinggi sehingga dilakukan pendekatan terintegrasi yaitu dengan mempelajari ketersediaan opsi pengendalian pasir yang lebih baik, pengumpulan data kandidat sumur, analisis

data, identifikasi formasi rawan produksi pasir dan optimalisasi system perforasi dan evaluasi sumur. Sehingga untuk mengoptimalkan system perforasi, menentukan batas *velocity* dan mempertimbangkan limit *critical drawdown pressure* dilakukan simulasi menggunakan software *pipesim*. Hasil dari penelitian tersebut menyatakan bahwa pendekatan yang dilakukan diatas menunjukkan hasil yang baik pada strategi optimasi perforasi untuk pencegahan pasir dalam meminimalisir keterkaitan zona gagal di sekitar perforasi yang berdekatan di lapangan Fula North-Sudan tanpa mengorbankan laju perforasi.

Selanjutnya, (Elsharafi, 2017) dalam penelitiannya melakukan perforasi pada 4 sumur dengan 4 jenis *High Shot Density gun* yang berbeda. Penelitian yang dilakukan tersebut menerapkan *perforation density* dan *phase angle* yang sama yaitu pada 6 *spf* dengan 60° *phase angle* pada semua sumur yang diteliti. Hasilnya menunjukkan bahwa pada penelitian yang dilakukan didapatkan hasil yang cukup baik dengan 60° *phase angle* yang diterapkan dan dinyatakan bahwa pada *gun* ke 4 yaitu 2-7/8 HSD charge PJ 2906 HMX adalah *gun* yang mendapatkan hasil yang baik di setiap sumur yang dilakukan perforasi di lapangan tersebut. Penelitian tersebut akan menjadi sumber data yang akan digunakan pada penelitian ini, tentunya pada penelitian ini peneliti akan melakukan simulasi dengan *perforation density* dan *phase angle* yang berbeda yaitu pada 4 *spf* pada 60°, 120° dan 45°/135°, 6 *spf* pada 60°, 120° dan 45°/135°, serta 12 *spf* pada 60°, 120° dan 45°/135°.

2.2 PERFORASI

Proses perforasi dilakukan dengan membuat lubang untuk menembus casing, semen, dan formasi sehingga terjadi kontak antara formasi dengan sumur yang menyebabkan fluida dari dalam formasi bisa mengalir ke dalam lubang sumur (He et al., 2014). Menurut Farid (2012) Perforasi berperan penting dalam mencapai produktivitas yang optimal. oleh karena itu, pemilihan strategi perforasi merupakan hal yang penting dilakukan agar sesuai dengan kondisi reservoir dan teknik kompleksi sumur pada lapangan. Faktor seperti parameter reservoir, kondisi lubang sumur, pengaturan *gun* perforasi, dan sistem perforasi juga harus dipertimbangkan sebelum melakukan perforasi. Tujuan sebenarnya dari proses perforasi adalah mengimplementasikan strategi yang menciptakan jalur aliran yang optimal antara formasi dan lubang sumur (Soroush et al., 2020). Proses perforasi menggunakan

bahan peledak yang dikenal dengan perforator agar bisa membuat lubang menembus casing, semen, dan formasi. Metode *Shaped Charges* menggunakan *high explosive* untuk menciptakan tunnel perforasi, dimana metode ini dinilai sangat efisien untuk menciptakan lubang perforasi yang cukup dalam untuk menembus formasi atau lapisan yang produktif (Osarumwense et al., 2014). Sebelum perforasi dilakukan, hal yang perlu diperhatikan adalah kondisi dari lubang sumur yaitu *overbalance* atau *underbalance* (Karakas & Tariq, 1991). *Overbalance* adalah kondisi dimana tekanan hidrostatik sumur lebih besar dari tekanan formasi sumur, Sebaliknya kondisi *underbalance* adalah kondisi dimana tekanan hidrostatik lebih kecil dibandingkan tekanan formasi (Jumaat, 2013). Agar sesuai dengan target yang diinginkan, design perforasi harus dilakukan dengan detail agar tidak terjadi masalah pada lubang sumur nantinya. Untuk meminimalisir kesalahan dalam design perforasi, pada penelitian ini peneliti akan menggunakan software *Pipesim* dalam mendesign perforasi tersebut.

2.3 DENSITAS PERFORASI

Densitas perforasi atau bisa juga disebut sebagai jumlah tembakan yang dilakukan per satuan Panjang (Shot per ft) merupakan parameter penting yang harus diperhitungkan sebelum pemilihan *gun* yang mengarah ke sejumlah lubang yang akan di perforasi pada formasi. Hal ini tergantung pada tingkat anisotropi permeabilitas pada reservoir. Seperti pada batuan *sandstone*, dimana permeabilitas horizontal lebih tinggi dari permeabilitas vertikal sehingga peningkatan jumlah densitas perforasi akan memotong interval yang lebih produktif di reservoir. Namun, pada formasi shale yang memiliki tingkat variasi dari permeabilitas dan porositas tinggi maka peningkatan densitas perforasi dapat menyebabkan runtuhnya *tunnel* perforasi atau kerusakan formasi yang tinggi di sekitar *tunnel* perforasi (Darwesh, 2014). Panjang perforasi pada berbagai densitas perforasi dapat ditampilkan terhadap rasio produktivitas. Rasio produktivitas adalah ukuran laju aliran yang melalui lubang perforasi dibandingkan dengan laju aliran ideal yang melalui lubang perforasi dengan panjang dan diameter yang sama maka bisa dinyatakan bahwa meningkatkan densitas perforasi juga akan meningkatkan rasio produktivitas pada perforasi. Untuk memilih jumlah densitas perforasi yang optimal maka dilakukan berbagai simulasi berdasarkan data permeabilitas dan juga kasus

sebelumnya pada formasi dengan porositas dan permeabilitas yang sama. Umumnya densitas perforasi yang digunakan adalah 4-12 spf dengan densitas tergantung pada karakteristik formasi. Tetapi pada kompleksitas natural untuk sumur dengan laju alir tinggi bisa menggunakan 6 spf atau lebih, sedangkan untuk sumur dengan produktivitas yang lebih rendah, 1-4 spf sudah termasuk jumlah densitas perforasi yang memadai (Zuklic et al., 2017).

2.4 SUDUT PERFORASI (PHASE ANGLE)

Pada proses perforasi, cara terbaik untuk mengalirkan fluida ke lubang sumur adalah melakukan kontrol terhadap sudut efektif antar *charges* yang biasanya disebut sebagai penapahan (*phasing*). Faktor-faktor seperti pipa, kekuatan formasi, adanya rekahan, dan jenis *gun* juga di perhitungkan dalam memilih sudut yang berbeda seperti 0° , 45° , 60° , 90° , 120° , 135° , dan 180° . Untuk 0° phase biasanya digunakan dengan *gun* yang memiliki diameter luar kecil dan diameter casing besar, dimana semua tembakan sejajar dalam 1 baris saja. Membuat *gun* menjadi sejajar dalam 1 sisi yang paling dekat dengan casing dianggap lebih baik karena energi muatan dapat digunakan secara efisien dalam menghasilkan kedalaman penetrasi yang tinggi, namun juga dapat menimbulkan kerusakan pada formasi sehingga 0° tidak terlalu direkomendasikan pada densitas perforasi yang lebih tinggi dari 6 spf dalam satu baris sejajar karena dapat membuat casing menjadi runtuh atau pecah (Farid, 2012). Di sisi lain sudut 60° , 90° , 120° lebih banyak digunakan karena hasil yang bisa mendapatkan hasil yang efisien. Biasanya sudut 60° , 90° , 120° lebih banyak digunakan karena memiliki kemampuan untuk melubangi sudut yang berbeda pada prosesnya dan umumnya digunakan untuk *gun* yang memiliki diameter luar yang besar, karena sentralisasi *gun* tidak diperlukan.

2.5 PEMILIHAN PELEDAK (GUN PERFORASI)

Pada umumnya, ada banyak jenis peledak yang sering digunakan dalam kegiatan perforasi, termasuk daya ledak dan juga stabilitas suhu yang bermacam-macam. Pada *Shaped Charges* sendiri bahan peledak utama yang digunakan berbentuk muatan. Ledakan pada muatan itu meledak dengan kecepatan supersonik. Bahan peledak sekunder juga diletakkan di kabel peledak dan detonator. Bahan peledak sekunder biasanya sulit untuk memulai ledakan sehingga membutuhkan

ledakan dari bahan peledak utama di detonator untuk mulai meledak. Sebaliknya, bahan peledak utama dapat dimulai dengan sedikit pemanasan misalnya kabel resistansi listrik, gesekan, benturan, dan statis discharge.

2.6 SOFTWARE PIPESIM

Software Pipesim memiliki kemampuan untuk melakukan analisis design sumur, perforasi, menganalisis kinerja pipa penyalur dan fasilitas proses, serta diagnostik sistem produksi minyak dan gas. Pipesim juga bisa digunakan dalam melakukan Analisa produksi dari dalam reservoir sampai ke permukaan, baik untuk sumur *natural flow* maupun *artificial lift*. Software ini juga bisa melakukan analisis terhadap *well completion*, *nodal analysis*, dan *network analysis* untuk aliran dari sumur hingga ke separator.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 METODE PENELITIAN

Dalam melakukan penelitian tugas akhir ini, Metode yang digunakan adalah *field research*. Data yang digunakan dalam melakukan penelitian ini adalah data sekunder yang diperoleh dari perusahaan serta didukung oleh buku dan jurnal-jurnal penelitian yang berkaitan dengan penelitian ini. Langkah-langkah yang akan dilakukan dalam penelitian ini adalah:

1. Pengumpulan data dari jurnal yang berkaitan dengan penelitian.
2. Melakukan design perforasi pembukaan lapisan baru dengan simulasi pada software *Pipesim*.
3. Melakukan design perforasi dengan densitas perforasi 3 *spf* pada 60°, 120° dan 45°/135° *phase angle*.
4. Melakukan design perforasi dengan densitas perforasi 4 *spf* pada 60° dan 120° dan 45°/135° *phase angle*.
5. Melakukan design perforasi dengan densitas perforasi 6 *spf* pada 60°, 120° dan 45°/135°.
6. Melakukan analisis dan pemilihan nilai skin terendah pada hasil perforasi yang dilakukan di sumur Y-02.
7. Melakukan penentuan *flowrate* sumur terhadap design perforasi yang direncanakan pada sumur Y-02.

Adapun data-data yang digunakan dalam penelitian ini terlampir pada table dibawah ini:

Table 3.1 Data Design Perforasi

No	Data	Jenis data
1	Design Perforasi	<i>Completion depth</i>
		<i>Casing ID & OD</i>
		<i>Tubing ID & OD</i>
		<i>Porosity</i>
		<i>Borehole diameter</i>

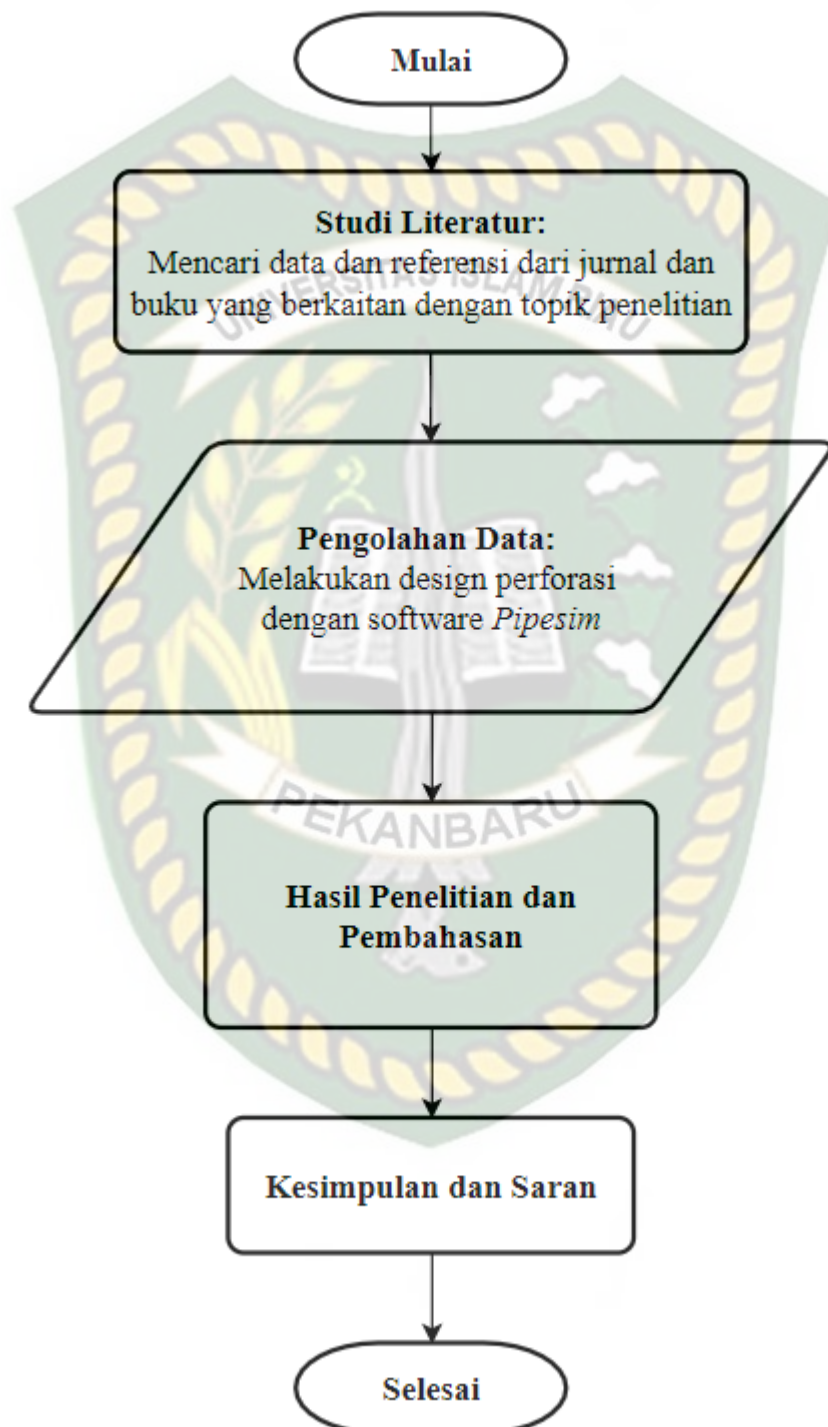
		<i>Reservoir pressure</i>
		<i>Reservoir temperature</i>
		<i>Thickness damage zone</i>
		<i>Gun type</i>
		<i>Charge type</i>
		<i>Rock type</i>
		<i>Perforation density</i>
		<i>Phase angle</i>



Dokumen ini adalah Arsip Miik :

Perpustakaan Universitas Islam Riau

3.2 DIAGRAM ALIR PENELITIAN



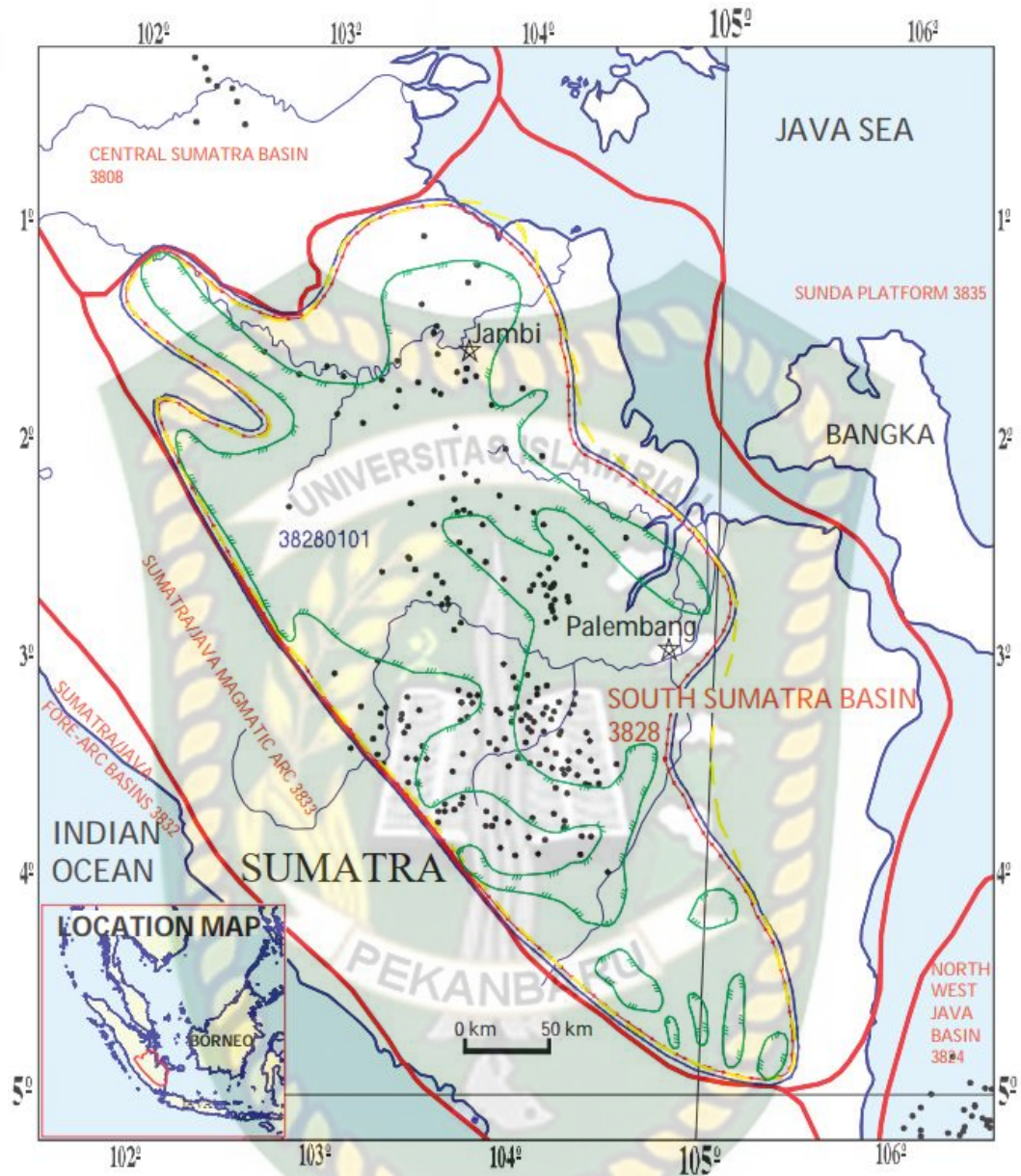
3.3 JADWAL PENELITIAN

Table 3.2 Jadwal Penelitian

KEGIATAN	Tahun 2021																			
	Februari Minggu ke -		Maret Minggu ke -				April Minggu ke -				Mei Minggu ke -				Juni Minggu ke -				Juli Minggu ke -	
	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2
Studi Literatur																				
Pembuatan Proposal Penelitian																				
Seminar Proposal Penelitian																				
Pengumpulan Data																				
Pengolahan Data																				
Pembuatan Hasil dan Pembahasan																				
Sidang Tugas Akhir																				

3.4 TINJAUAN LAPANGAN

Cekungan Sumatera Selatan (CSS) merupakan cekungan belakang busur yang dibatasi oleh Bukit Barisan di bagian barat dan Paparan Sunda di bagian utara-timur laut. Cekungan Sumatera Selatan terbentuk pada periode tektonik ekstensional pra-tercier sampai terciar awal yang berarah relatif barat-timur (Kusumawardani et al., n.d.). Cekungan Sumatera Selatan terdiri dari tiga sub cekungan besar, dimana dari selatan ke utara yaitu terdapat sub cekungan Palembang Selatan, antiklinorium Palembang Utara, dan sub cekungan Jambi (Kusumawardani et al., n.d.). Urutan stratigrafi daerah cekungan Sumatera Selatan terdiri dari batuan termuda alluvium yang mencakup kerakal, lumpur dan lempung. Menurut Gomez et al (2013) Umumnya formasi pada daerah cekungan Sumatera Selatan adalah formasi Telisa (TLS), formasi Batu Raja (BRF), formasi Talang Akar (TAF) dan formasi Lahat (LAF). Pada penelitian ini, peneliti akan melakukan penelitian pada lapangan Y-02 dimana formasi pada lapangan Y-02 adalah formasi Telisa. Formasi Telisa diendapkan secara selaras di atas formasi Gumai dimana formasi ini menandai terjadinya transgresi maksimum di cekungan Sumatera Selatan (Shidqi & Bajry, 2019). Gomez et al (2013) menyatakan bahwa formasi ini terdiri dari batu lempung abu-abu yang tebal dan memiliki foraminifera planktonik yang membentuk lamina putih tipis. Ketebalan formasi ini secara umum bervariasi antara 100-500m dan dapat mencapai ketebalan hingga 2.500m (Bishop, 2001). Berdasarkan litologi, formasi Telisa diidentifikasi sebagai batu pasir halus sampai sangat halus dan mengandung mineral *glaukonit*. Batupasir ini terendapkan pada lingkungan laut dangkal (Argakoesoemah & Firmansyah, 2011). Porositas yang terdapat pada formasi Telisa berkisar antara 10% hingga 20% dengan permeabilitasnya sekitar 5 hingga 50 mDarcy (Azhari et al., 2017).



Gambar 3. 1. Peta Regional Cekungan Sumatera Selatan (Bishop, 2001).

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Perforasi bisa disebut sebagai kunci dalam melakukan *well completion*. Dalam beberapa dekade terakhir, perforasi berkembang pesat hingga bisa memainkan peranan penting dalam peningkatan produksi bagi sumur migas (He et al., 2014). Sebagai bagian dari *workover* dan *completion* perforasi membutuhkan rangkaian alat seperti peledak atau *charges* yang diturunkan kedalam sumur dengan menggunakan *electric conductor wireline cable, tubing*, maupun *drillstring* (Leal et al., 2014). Menurut Haggerty et al (2016) Dalam melakukan design perforasi, ada beberapa parameter penting yang harus diperhatikan seperti densitas perforasi, *phase angle*, kedalaman penetrasi perforasi, dan diameter penetrasi perforasi.

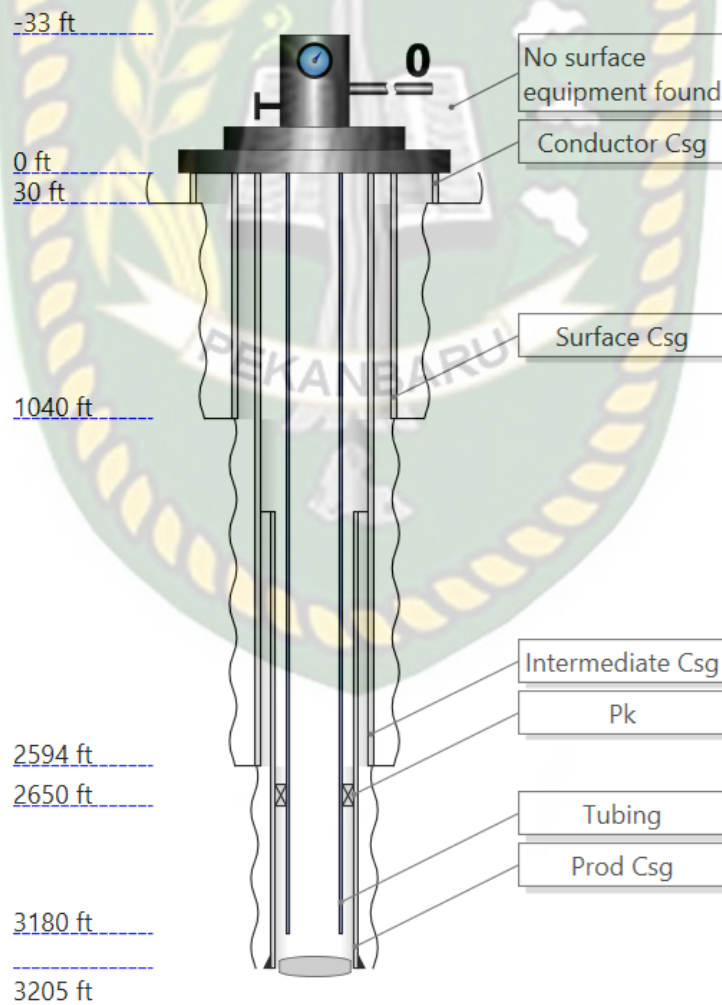
Beberapa parameter diatas mempunyai pengaruh terhadap tingkat keberhasilan perforasi. Jika penetrasi yang dihasilkan dari perforasi semakin dalam maka *performance* dari sumur akan lebih baik, hal ini selaras dengan diameter penetrasi perforasi dimana jika diameter yang dihasilkan semakin besar maka *flow performance* juga akan lebih baik. Untuk densitas perforasi dan *phase angle*, Menurut Locke (1981) semakin tinggi densitas perforasi maka akan semakin tinggi pula rasio produktivitas terhadap sumur tersebut. Tetapi perlu diperhatikan juga terhadap efek dari tingginya densitas perforasi, karena kepadatan tembakan dapat menyebabkan runtuhnya formasi atau kerusakan formasi yang tinggi disekitar lubang perforasi. *Phase angle* juga mempengaruhi rasio produktivitas sumur dikarenakan pola sudut tembakan yang berada disekitar lubang sumur.

4.1. PEMODELAN SUMUR

Pemodelan sumur dibuat dengan melakukan simulasi dimana hasil dari simulasi tersebut akan menyerupai kondisi sumur yang sebenarnya. Untuk pemodelan sumur Y-02, penulis akan melakukan simulasi dengan menggunakan *software pipesim*. Pada table 4.1 dibawah dilampirkan data *schematic* sumur yang berisi data rangkaian *casing* hingga *packer* yang ada pada sumur Y-02. Jenis packer yang digunakan pada sumur Y-02 adalah *permanent-retrievable packer*. Packer ini adalah *packer permanent*, tetapi jika akan dilakukan pencabutan tubing maka tidak perlu dilakukan *fishing*, melainkan bisa dilakukan dengan *overpull* tertentu atau *running cutter* dengan *wireline*.

Table 4.1 Well Tubulars Data

No.	Tubulars	From MD (ft)	To MD (ft)	ID (in)	OD (in)	Grade	Weight (ppf)
1	Conductor Casing	0	30	19	20	K55	106.5
2	Surface Casing	0	1040	12.415	13.375	K55	68
2	Intermediate Casing	0	2594	8.681	9.625	N80	47
3	Production Casing	1384	3205	6.276	7	N80	26
3	Tubing	0	3180	3.958	4.5	N80	12.6
4	Packer 1	-	2650	-	-	-	-



Gambar 4. 1 Wellbore Diagram

4.2. DESIGN PERFORASI

Target dari design perforasi pada sumur Y-02 adalah dengan mendapatkan nilai skin terendah dari beberapa skema yang dirancang dan memperkirakan *rate* yang dihasilkan dari design tersebut. Pada perancangan perforasi untuk sumur ini, *perforating gun* yang akan digunakan adalah *casing gun* berupa HSD (*high shot density*) dengan kondisi sumur berada pada kondisi *overbalance*. Tipe bahan peledak yang akan digunakan untuk perforasi di sumur ini adalah *Research Department composition X (RDX)*, pemilihan tipe bahan peledak ini didasari oleh temperature sumur yaitu 258°F. Pemilihan jenis *gun* untuk keseluruhan design perforasi telah ditentukan oleh perusahaan.

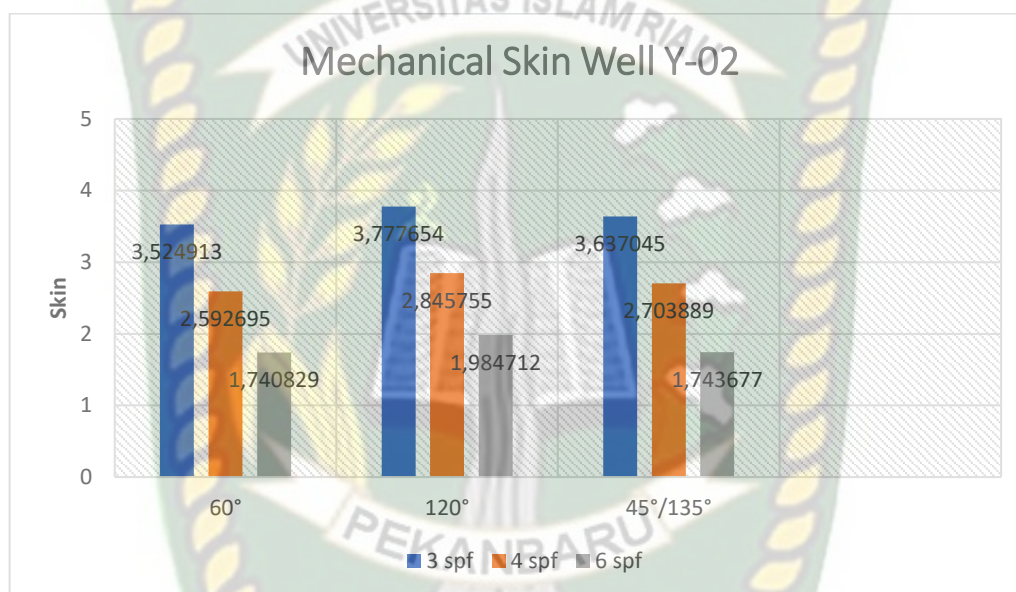
Table 4.2 Well Data

Data	Well Y-02
<i>Reservoir Pressure</i>	2100 psia
<i>Reservoir Temperature</i>	258°F
<i>Reservoir Thickness</i>	23 ft
<i>Borehole Diameter</i>	21 in
<i>Permeability</i>	12.7 mD
<i>Porosity</i>	18 %
<i>Rock Type</i>	Sandstone
<i>Thickness Damage Zone</i>	5 in
<i>Gun Type</i>	2-1/2 HSD 60.6
<i>Charge Type</i>	HJ 2506 RDX
<i>Perforation Density</i>	3, 4, 6
<i>Phase Angle</i>	60°, 120°, 45°/135°

Setelah design perforasi dilakukan, maka selanjutnya bisa diketahui nilai skin pada tiap skema perforasi yang dilakukan berdasarkan output yang dikeluarkan dari simulasi yang telah dilakukan melalui software *Pipesim*.

4.3. ESTIMASI NILAI SKIN

Pada perforasi umumnya terdapat beberapa skin seperti *horizontal skin*, *vertical skin*, dan *wellbore skin* (Karakas & Tariq, 1991). Selain itu terdapat efek mekanis yang terjadi setelah perforasi dilakukan yaitu *mechanical skin*. Untuk perforasi yang akan dilakukan di sumur Y-02, *mechanical skin* diketahui berdasarkan sensitivitas dari *phase angle* dan densitas perforasi. Adapun nilai skin yang diperoleh berdasarkan variasi dari nilai *phase angle* dan densitas perforasi pada sumur Y-02 dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 4. 2 Grafik Mechanical Skin Sumur Y-02

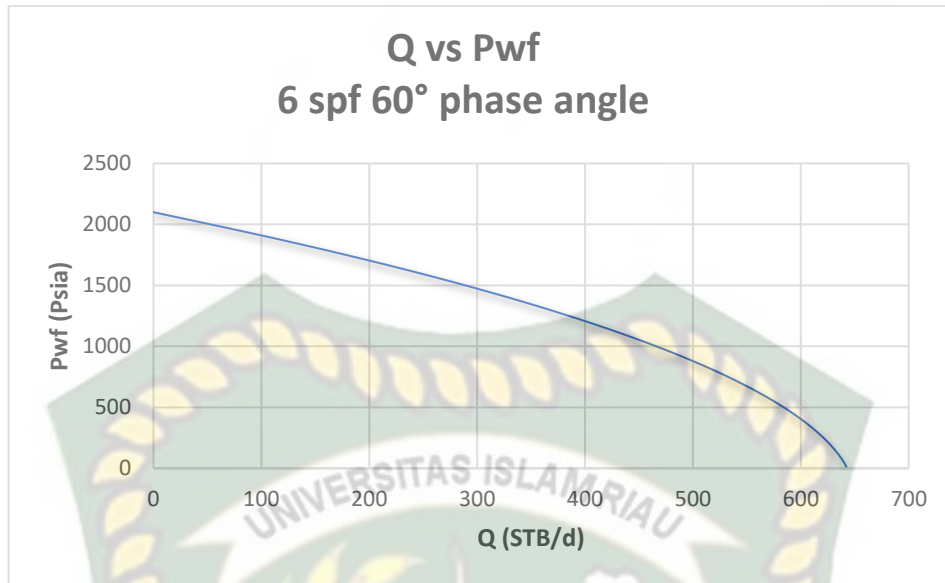
Berdasarkan gambar diatas dapat diketahui bahwa pada seluruh hasil simulasi, dengan nilai densitas perforasi yang sama antara 3 *spf*, 4 *spf*, dan 6 *spf*, nilai skin tertinggi ditunjukkan oleh 120° *phase angle* dikarenakan tipe *charge* yang tidak sesuai dengan *phase angle* yang digunakan sehingga nilai skin yang dihasilkan lebih besar dari *phase angle* lainnya. Selain itu skema 120° *phase angle* juga membuat posisi *gun* sejajar dalam satu baris dan menyerupai skema 0° dan 180° *phase angle* sehingga *formation damage* yang dihasilkan selalu lebih besar dibandingkan nilai 60° dan 45°/135° *phase angle* (Mohammed et al., 2020). Kemudian untuk nilai skin terendah berada pada *phase angle* 60°. Hal ini sesuai dengan pernyataan Muskat (1943) bahwa *phase angle* 60° merupakan nilai yang hampir efektif untuk digunakan pada setiap proses perforasi karena memiliki

kemampuan untuk melubangi pada sudut yang berbeda, dan juga bisa digunakan dengan *gun* yang memiliki diameter besar sehingga sentralisasi *gun* tidak diperlukan. Dalam penelitian lainnya, Locke (1981) juga menyatakan bahwa dengan asumsi panjang perforasi tetap dan tidak ada kerusakan formasi, *phase angle* 60° memiliki rasio produktivitas tertinggi. Menurut Rastegar et al (2015) *phase angle* 60° , 90° , 120° , $45^\circ/135^\circ$ lebih banyak digunakan dari 0° *phase angle* karena aliran yang dihasilkan akan lebih efisien.

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh, untuk *phase angle* 60° nilai skin tertinggi diperoleh dengan densitas perforasi 3 *spf*. Kemudian sama halnya dengan nilai *phase angle* 120° dan $45^\circ/135^\circ$ juga menghasilkan nilai skin tertinggi pada densitas perforasi 3 *spf*. Hal ini terjadi karena total tekanan dipengaruhi secara signifikan dengan meningkatnya kepadatan perforasi, jadi semakin sedikit atau kecil jumlah densitas perforasi maka *gun* lebih leluasa karena tidak terpengaruh oleh *velocity* serta tekanan yang dihasilkan oleh *gun* lainnya (Alexandri, 2018). Berdasarkan hasil pada gambar yang menunjukkan nilai skin (+) maka dapat dinyatakan akan terjadi *formation damage* pada saat dilakukan perforasi di sumur tersebut. Hal seperti *formation damage* biasanya pasti terjadi saat dilakukan perforasi, Namun hal tersebut bisa diantisipasi dengan mengajukan skema perforasi yang memiliki nilai skin terendah yang telah diketahui agar tidak terjadi *formation damage* yang terlalu berpengaruh pada sumur tersebut.

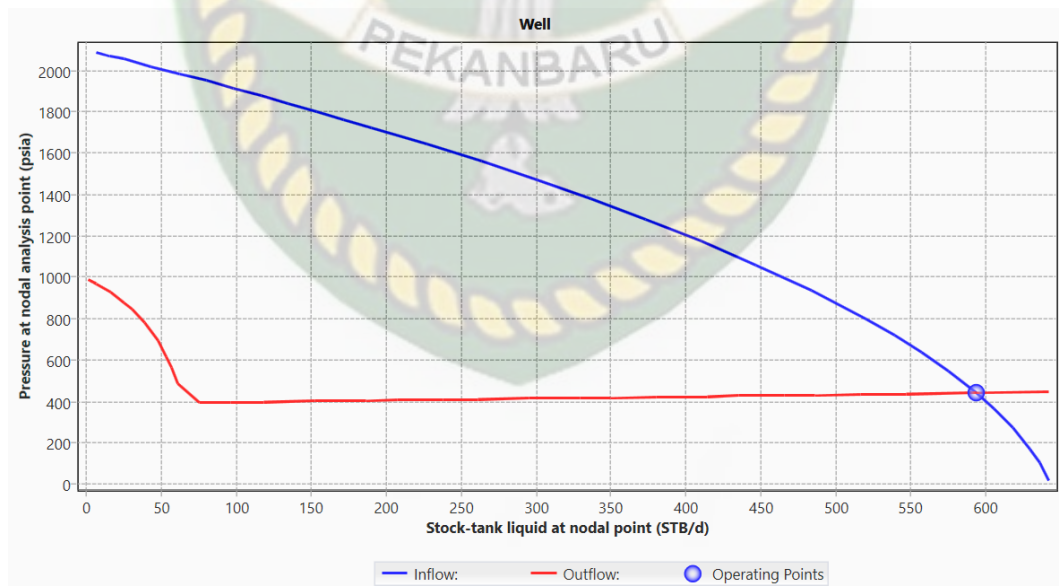
4.4. MENENTUKAN FLOWRATE SUMUR

Berdasarkan design perforasi yang telah dilakukan, telah diketahui nilai skin terendah dari hasil simulasi menggunakan software *Pipesim* yaitu 1.740829 pada 6 *spf* 60° *phase angle*. Selain mengetahui nilai skin dari masing-masing design perforasi yang dilakukan. Dari hasil simulasi juga dapat diketahui perkiraan *flowrate* pada sumur setelah proses perforasi selesai dilakukan. Gambar 4.3 dibawah ini merupakan estimasi *flowrate* sumur dari beberapa skema perforasi yang telah dirancang. Skema perforasi dengan 6 *spf* dan 60° *phase angle* juga memiliki estimasi rate tertinggi dibandingkan skema lainnya dengan nilai spesifik rate 642.266 STB/day.



Gambar 4. 3 Grafik laju alir 6 spf 60° phase angle

Setelah mengetahui estimasi nilai *flowrate* untuk sumur Y-02 maka dapat dilakukan analisis nodal menggunakan simulasi software *Pipesim*. Berdasarkan analisis nodal yang dilakukan, didapatkan *operating points* untuk skema perforasi 6 spf 60° phase angle pada 593.587 bbl/day dengan *pressure at nodal analysis point* sebesar 444.8437 psia.



Gambar 4. 4 Nodal analysis 6 spf 60° phase angle

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. KESIMPULAN

Dari hasil design melalui simulasi menggunakan software *Pipesim* dan pembahasan pemilihan nilai skin terendah hingga penentuan *flowrate* sumur dapat diambil kesimpulan:

1. Berdasarkan hasil penelitian, maka skin terendah diperoleh pada densitas perforasi 6 *spf* 60° *phase angle* dengan nilai skin 1.740829.
2. Nilai skin terendah terdapat pada densitas perforasi 6 *spf* dan *phase angle* 60° karena nilai densitas perforasi 6 dianggap baik untuk proses perforasi pada sumur dengan produktivitas rendah maupun tinggi serta nilai *phase angle* tersebut merupakan nilai yang hampir efektif untuk digunakan pada setiap proses perforasi karena memiliki kemampuan untuk melubangi pada sudut yang berbeda. Sedangkan nilai skin tertinggi terdapat pada densitas perforasi 3 *spf* dan *phase angle* 120°. Hal ini karena total tekanan dipengaruhi secara signifikan dengan meningkatnya kepadatan perforasi, semakin sedikit atau kecil jumlah densitas perforasi maka *gun* lebih leluasa karena tidak terpengaruh oleh *velocity* serta tekanan yang dihasilkan oleh *gun* lainnya serta nilai *phase angle* 120° merupakan sudut dengan posisi *gun* sejajar seperti pada posisi *gun* 0° dan 180° sehingga bisa menghasilkan *formation damage* yang lebih besar.
3. *Flowrate* dari skema perforasi 6 *spf* dengan *phase angle* 60° menghasilkan nilai spesifik rate 642.266 STB/day.

5.2. SARAN

Dalam penelitian ini penulis melakukan design perforasi dengan menggunakan software *Pipesim* serta densitas perforasi 3 *spf*, 4 *spf* dan 6 *spf* dengan *phase angle* 60°, 120° dan 45°/135°. Disarankan pada peneliti selanjutnya untuk melakukan design perforasi dengan variasi densitas perforasi dan *phase angle* yang berbeda agar dapat diperoleh design yang optimal untuk sumur Y-02.

DAFTAR PUSTAKA

- Alexandri, A. (2018). Peran Penting Perencanaan Kompleksi Formasi dalam Keberhasilan Kompleksi Sumur. *Swara Patra*, 8(4), 19–27.
- Argakoesoemah, R. I., & Firmansyah, D. A. (2011). Editorial Board Advisory Board Berita Sedimentologi. *Berita Sedimentologi*.
- Azhari, M., Prakoso, N. F., Ningrum, D., Soetikno, L., & Makmun, A. (2017). Unlocking depleted and low-modulus telisa sandstone reservoir with pillar fracturing technique: Well performance improvement comparison with conventional fracturing. *Society of Petroleum Engineers - SPE/IATMI Asia Pacific Oil and Gas Conference and Exhibition 2017*, 2017-Janua. <https://doi.org/10.2118/186199-ms>
- Baumann, C., Barnard, K., Anbao, L., Williams, H., Fuxiang, Z., Yang, X., & Jianxin, P. (2013). Prediction and reduction of perforating *gunshock* loads. *Society of Petroleum Engineers - International Petroleum Technology Conference 2013, IPTC 2013: Challenging Technology and Economic Limits to Meet the Global Energy Demand*, 4, 2565–2573. <https://doi.org/10.2523/iptc-16744-ms>
- Bishop, M. G. (2001). South Sumatra Basin Province, Indonesia: The Lahat/Talang Akar-Cenozoic Total Petroleum System. *USGS Open File Report*, 99-50-S, 22.
- Darwesh, M. G. (2014). *The effect of perforation technology on the productivity of hydrocarbon wells*. May, 1–75.
- Elsharafi, M. O. (2017). Evaluation of the Productivity of Vertical Oil Wells by Using Different High Shot Density (HSD) Guns. *International Journal Of Petrochemical Science & Engineering*, 2(2), 52–64. <https://doi.org/10.15406/ipcse.2017.02.00032>
- Eltygani, M. G., Mohamed, M. E., Albalolh, M. A. A., & Awadalkarim, S. A. (2018). Perforation Strategy Optimization for Sand production Prevention with Case Study: Fula North Field-Sudan. *Sudan University of Science and Technology College of Petroleum Engineering and Technology Department of Petroleum*

Engineering, October.

Farid, J. (2012). *Importance of Perforation Process.* 51–52.

Gomez, T. P., Xue, F., Balasejus, D., Mcdonald, T. D., & Audemard, P. (2013). *Petroleum System of South Sumatra Basin , Indonesia.* 1–8.

Guo, B., William C. Lyons, & Ali Ghalambor. (n.d.). *Petroleum Production Engineering.*

Haggerty, D., McGregor, J., Barker, J., Manning, D., & DeHart, R. (2016). *Penetration Performance of a Shaped Charge Perforator in Sandstone and Limestone Targets at Extreme Pore Pressures and Constant Effective Stress.* <https://doi.org/10.2523/iptc-18712-ms>

He, L. I. U., Feng, W., Yucai, W., Yang, G. A. O., & Jianlong, C. (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)

Jumaat, M. S. (2013). Repeat dynamic underbalance perforating in Oman. *Society of Petroleum Engineers - SPE Asia Pacific Oil and Gas Conference and Exhibition, APOGCE 2013: Maximising the Mature, Elevating the Young*, 2(October), 1306–1312. <https://doi.org/10.2118/165920-ms>

Karakas, M., & Tariq, S. M. (1991). Semianalytical productivity models for perforated completions. *SPE Production Engineering*, 6(1), 73–82. <https://doi.org/10.2118/18247-PA>

Kusumawardani, D., Aribowo, Y., Hidayatillah, A. S., Usmani, F., Telisa, F., & Ginger, M. (n.d.). *Pemetaan Bawah Permukaan dan Perhitungan Cadangan Hidrokarbon Formasi Baturaja , Lapangan Mawar , Cekungan Sumatra Selatan Produksi minyak dan gas bumi harus diimbangi dengan adanya kegiatan eksplorasi potensi cadangan minyak dan energi . Kegiatan eksplor.* 25–33.

Leal, J., Ghurari, F., Zbitowsky, R., Duarte, J., Yaseen, A., Derouen, B., & Soriano, E. (2014). Engineered perforating charges designed for stimulation. *Proceedings - SPE Annual Technical Conference and Exhibition*, 1, 515–528. <https://doi.org/10.2118/170617-ms>

Level, C. (2013). *Workovers*.

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>

Mohammed, H. S., Khazal, E. A., & Sultan, H. S. (2020). *Studying the Effect of Perforation Parameters on Vertical Well Performance*. 20(2), 48–59.

Muskat, M. (1943). The Effect of Casing Perforations on Well Productivity. *Transactions of the AIME*, 151(01), 175–187. <https://doi.org/10.2118/943175-g>

Osarumwense, N., Satti, R., White, R., Ochsner, D., Sampson, T., Gilliat, J., Hughes, B., & Fraser, G. (2014). Shaped charge selection and underbalance optimization using the perforation flow laboratory for deepwater subsea wells in offshore Africa. *Society of Petroleum Engineers - SPE Deepwater Drilling and Completions Conference 2014*, 33–52. <https://doi.org/10.2118/170259-ms>

Rastegar, R., Munawar, M., Nowowiejski, D., Granberg, S., Mehus, C., & Benson, A. (2015). Mitigating formation damage by using completion with built-in-casing perforations instead of perforation with explosive charges. *SPE - European Formation Damage Conference, Proceedings, EFDC, 2015-Janua*, 791–807. <https://doi.org/10.2118/174251-ms>

Satti, R., Betancourt, D., Harvey, W., Zuklic, S., White, R., Ochsner, D., Sampson, T., Myers, W., Gilliat, J., & Hughes, B. (2017). *Beginning With the End In Mind: Shaped Charges Designed for Reservoir Conditions*.

Shidqi, M. F., & Bajry, F. (2019). *Identifikasi Fasies Karbonat Formasi Baturaja, Cekungan Sumatera Selatan, Berdasarkan Data Sumur* (Issue Prosiding Seminar Nasional Kebumian Ke-12, p. Yogyakarta.).

Soroush, M., Roostaei, M., Mohammadtabar, M., Hosseini, S. A., Mahmoudi, M., Sadrzadeh, M., Ghalambor, A., & Fattahpour, V. (2020). Design for reliability: Purpose driven sand control methods for cased and perforated wells. *Proceedings - SPE Annual Technical Conference and Exhibition, 2020-Octob*. <https://doi.org/10.2118/201315-ms>

Tong, G., Xiaohan, P., Yafeng, J., Fuwei, B., Shengli, S., & Company, O. (2017). *SPE-186291-MS Study on Non-Contact Connection Separated Layer Production Technology and Its Application Test Overall structure and working principle.*

Vol, J., & Novrianti, N. (2017). *Issn 2540 - 9352.* 6(2), 1–8.

Yang, S., Yusoff, M. H. M., Abdullah, I. A., Ros, M. I. M., & Devadass, L. (2019). *SPE-197149-MS Plugging & Abandonment of Multiple Zones in One Run Using Perforate Wash and Cement on Hydraulic Workover Unit.*

Zuklic, S., Satti, R., Betancourt, D., Harvey, W., White, R., Sampson, T., & Myers, W. (2017). Innovation in reservoir-driven shaped charges enhances productivity. *Proceedings of the Annual Offshore Technology Conference, 2*, 1263–1279. <https://doi.org/10.4043/27935-ms>

