

**PERENCANAAN SIMULASI *HYDRAULIC FRACTURING*
DENGAN PERMODELAN SIMULATOR *FRACCADE* PADA
SUMUR K LAPANGAN N**

TUGAS AKHIR

*Diajukan guna penyusunan Tugas akhir Program Studi Teknik
Perminyakan*

Oleh

KHAIRUN NUFUZ

NPM 153210112



**PROGRAM STUDI TEKNIK PERMINYAKAN
UNIVERSITAS ISLAM RIAU
PEKANBARU
2022**

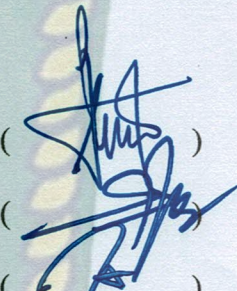
HALAMAN PENGESAHAN

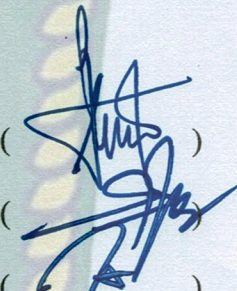
Tugas akhir ini disusun oleh :

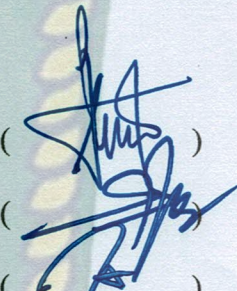
Nama : Khairun Nufuz
NPM : 153210112
Program Studi : Teknik Perminyakan
Judul Tugas Akhir : Perencanaan Simulasi *Hydraulic Fracturing*
dengan Permodelan Simulator *Fraccade* pada
Sumur K Lapangan N

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. H. Ali Musnal, M.T ()

Penguji : Dike Fitriansyah Putra, S.T., M.Sc., MBA ()

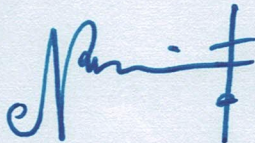
Penguji : Novrianti, S.T., M.T. ()

Ditetapkan di : Pekanbaru

Tanggal : 3 Juni 2022

Disahkan oleh

**KETUA PROGRAM STUDI
TEKNIK PERMINYAKAN**



NOVIA RITA, S.T., M.T.

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa tugas akhir ini merupakan karya saya sendiri dan semua sumber yang tercantum di dalam 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.

Perpustakaan Universitas Islam Riau

Dokumen ini adalah Arsip Milik :

Pekanbaru, 13 Mei 2022



Khairun Nufuz
NPM 153210112

KATA PENGANTAR

Rasa syukur disampaikan kepada Allah Subhanallahu wa Ta'ala karena atas Rahmat dan limpahan ilmu dari-Nya saya dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Penulisan tugas akhir ini merupakan syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Perminyakan. Universitas Islam Riau. Saya menyadari bahwa banyak pihak yang telah membantu dan mendorong saya untuk menyelesaikan tugas akhir ini. Oleh karena itu saya ingin mengucapkan terimakasih kepada :

1. Ibu Novia Rita S.T., M.T. Selaku Ketua Program Studi Teknik Perminyakan Universitas Islam Riau.
2. Bapak Tomi Erfando ST, MT Selaku Sekertaris Prodi Studi Teknik Perminyakan.
3. Bapak Ir. H. Ali Musnal, M.T yang sudah meluangkan waktu dan memberikan arahan dan masukan kepada penulis.
4. Para Dosen beserta staff pengajar Program Studi Teknik Perminyakan Fakultas Teknik Universitas Islam Riau
5. Bapak Hirzi yang telah memberikan kesempatan untuk pengambilan data dan bimbingan tugas akhir
6. Kedua Orang Tua saya Bapak Haris dan Ibu Erda Wati yang selalu mendoakan dan memberi semangat selama pengerjaan proposal penelitian.
7. Teman-teman Seperjuangan angkatan 2015 Teknik Perminyakan Universitas Islam Riau.

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, 13 Mei 2022

Khairun Nufuz

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	1
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	2
KATA PENGANTAR.....	3
DAFTAR ISI.....	4
ABSTRAK	6
ABSTRACT	7
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. <i>HYDRAULIC FRACTURING</i>	4
2.2. <i>FRACCADE</i>	5
2.3. FLUIDA PEREKAH.....	5
2.4. <i>PROPPANT</i>	7
2.5. <i>ADDITIVE</i>	8
2.6. MODEL GEOMETRI REKAHAN	8
2.7. <i>STATE OF THE ART</i>	10
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	13
3.1. URAIAN METODOLOGI PENELITIAN.....	13
3.2. ALUR PENELITIAN	14
3.3. SIMULASI HF DENGAN SIMULATOR FRACCADE.....	14
3.4. TEMPAT PENELITIAN	16

3.5.	JADWAL PENELITIAN.....	17
BAB IV PEMBAHASAN.....		18
4.1	SPEKIFIKASI <i>PROPPANT</i>	19
4.2	MODEL GEOMETRI REKAHAN	20
4.3	SKENARIO.....	21
BAB V KESIMPULAN & SARAN		25
5.1	KESIMPULAN.....	25
5.2	SARAN	25
DAFTAR PUSTAKA		26



**PERENCANAAN SIMULASI *HYDRAULIC FRACTURING* DENGAN
PERMODELAN SIMULATOR *FRACCADE* PADA SUMUR K
LAPANGAN N**

**KHAIRUN NUFUZ
NPM 153210112**

ABSTRAK

Penurunan produksi pada sumur tua tidak bisa dihindari dikarenakan banyaknya permasalahan yang terjadi pada proses produksi, Untuk mengeksploitasi migas diperlukan metode serta teknologi yang berbeda-beda tergantung dengan kondisi dan permasalahan pada sumur, untuk mengeksploitasi *hydrocarbon* dilakukan *hydraulic fracturing* yaitu perekahan hidrolik sedangkan untuk gas metana diperlukan metode yang berbeda pula, Dalam beberapa tahun terakhir teknologi *hydraulic fracturing* telah mengalami perkembangan yang sangat besar, karena penggunaan teknologi ini telah meningkatkan produksi migas di Amerika. Penelitian ini dilakukan pada cekungan Sumatera Tengah, yaitu pada sumur K, dimana sumur ini merupakan bagian dari formasi H yang ada di lapangan N. Formasi H berumur Miosen Awal-Miosen Tengah (N7-N11). Adapun dalam penelitian ini parameter yang akan dibandingkan adalah model geometri rekahan dan jenis *proppant* yang digunakan, yang pada akhirnya nanti akan dibandingkan tipe geometri rekahan dan jenis *proppant* yang cocok diaplikasikan pada sumur K, Pada penelitian ini model geometri rekahan yang dibandingkan adalah model PKN dan KGD, dari hasil penelitian ini model rekahan KGD lebih disarankan untuk digunakan karena penyebaran *proppant* pada model geometri ini lebih banyak tersebar, dari penelitian ini didapatkan *proppant* Arizona sand memberikan nilai produksi kumulatif yang lebih tinggi dibandingkan 2 jenis *proppant* lainnya, dengan dipilihnya model geometri rekahan KGD dan jenis *proppant* Arizona sand didapatkan kumulatif produksi minyak sebesar 51614 STB.

Kata kunci: *Hydraulic Fracturing*, KGD, PKN, *Proppant*

**PLANNING OF HYDRAULIC FRACTURING SIMULATION
USING MODELING FRACCADE SIMULATOR IN WELL K FIELD N**

**KHAIRUN NUFUZ
NPM 153210112**

ABSTRACT

The decline in production in old wells cannot be avoided due to the many problems that occur in the production process. To exploit oil and gas, different methods and technologies are needed depending on the conditions and problems in the well. To exploit hydrocarbons, hydraulic fracturing is carried out, namely hydraulic fracturing, while for methane gas is required. different methods. In recent years, hydraulic fracturing technology has developed enormously, because the use of this technology has increased oil and gas production in America. This research was conducted in the central Sumatran basin, namely the K well, where this well is part of the H formation. in the field N. Formation H is Early Miocene-Middle Miocene (N7-N11). In this study, the parameters to be compared are the fracture geometry model and the type of proppant used, which in the end will be compared with the fracture geometry type and the suitable proppant type to be applied to N wells. In this study, the fracture geometry models compared are the PKN and KGD models. , from the results of this study the KGD fracture model is recommended to be used because the proppant distribution in this geometric model is more widespread, from this study it was found that the Arrizona sand proppant gave a higher cumulative production value than the other 2 types of proppant, with the choice of the KGD fracture geometry model and the type of proppant arrizona sand obtained cumulative oil production of 51614 STB.

Keyword : Hydraulic Fracturing, KGD, PKN, Proppant

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG

Pada era perindustrian migas sekarang, perusahaan lebih fokus mengoptimalkan sumur-sumur yang telah ada dari pada mengeksplorasi sumber *hydrocarbon* yang baru dengan cara meningkatkan metode *oil recovery* nya (Gharibi & Zoveidavianpoor, 2015). Produksi serta cadangan minyak pada sumur tua dapat di tingkatkan melalui penerapan teknik peningkatan dan pengoptimalan produksi (Ramonés et al., 2015). Penurunan produksi pada sumur tua tidak bisa dihindari dikarenakan banyaknya permasalahan yang terjadi pada proses produksi (Geomine et al., 2017). Salah satu metode untuk meningkatkan *oil recovery* adalah dilakukannya perangsangan atau stimulasi pada sumur produksi. Stimulasi merupakan proses menstimulasi atau perangsangan sumur yang bertujuan untuk melakukan perbaikan pada sumur yang mengalami kerusakan. (Cahyaningsih et al., 2012). Sumur yang telah mengalami penurunan produksi dan memiliki permeabilitas rendah lebih cenderung dieksploitasi. Untuk memproduksi minyak dan gas pada sumur tersebut dilakukan metode stimulasi *hydraulic fracturing* (Prasetyo, 2020).

Untuk mengeksploitasi migas diperlukan metode serta teknologi yang berbeda-beda tergantung dengan kondisi dan permasalahan pada sumur, untuk mengeksploitasi *hydrocarbon* dilakukan *hydraulic fracturing* yaitu perekahan hidrolik sedangkan untuk gas metana diperlukan metode yang berbeda pula (S & Abror, 2020). Teknologi *hydraulic fracturing* semakin diminati untuk pengembangan sumber daya non-konvensional (Rahman et al., 2014). *Hydraulic fracturing* dilakukan pada formasi dengan nilai permeabilitas kecil hingga menengah dan juga yang memiliki laju alir kecil. *Hydraulic fracturing* dapat dilakukan pada sumur yang memiliki cadangan cukup besar tetapi sudah tidak ekonomis (Ryan et al., 2017). *Hydraulic fracturing* dilakukan dengan cara merekahkan formasi dimana pada rekahan tersebut akan diganjil dengan *propping agent* (Suwardi,2009).

Stimulasi *fracture* digunakan untuk mengatasi efek buruk dari kerusakan formasi dan permeabilitas rendah, meningkatkan produksi dan mengontrol produksi air serta padatan formasi. Proses perekahan ini membutuhkan desain rekahan untuk mencapai tujuan (Michael. j & Kenneth. G, 2013). Sebelum dilakukan stimulasi perlu dilakukan suatu perencanaan dikarenakan biaya yang diperlukan untuk stimulasi ini sangatlah besar, untuk mengurangi resiko gagal dibutuhkan *design* perekahan yang tepat (Kolawole et al., 2019). Pada penelitian ini akan dilakukan simulasi *hydraulic fracturing* dengan menggunakan simulator *FracCADE*, *FracCADE* merupakan *software* yang digunakan sebagai alat desain dan evaluasi yang bertujuan sebagai gambaran untuk stimulasi *hydraulic fracturing*.

Pada penelitian ini akan dilakukan simulasi pada sumur N yang terletak di cekungan Sumatra tengah, lebih tepatnya pada PT. SPR Langgak. Sumur yang akan dilakukan simulasi tersebut telah mengalami penurunan produksi yang signifikan dari 823 BFPD menjadi 543 BFPD. Diharapkan dengan dilakukannya simulasi didapat hasil kenaikan produksi yang optimal.

1.2. TUJUAN PENELITIAN

Tujuan penelitian dari Tugas Akhir ini di antaranya:

1. Menentukan model rekahan yang akan digunakan pada saat simulasi *hydraulic fracturing*.
2. Menentukan jenis *proppant* yang tepat untuk *design* simulasi *hydraulic fracturing*.
3. Menganalisa keberhasilan simulasi *hydraulic fracturing*.

1.3. MANFAAT PENELITIAN

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pengkayaan materi untuk Teknik Produksi dalam merencanakan suatu simulasi *hydraulic fracturing* yang berguna sebagai gambaran awal sebelum dilakukannya stimulasi.

2. Menjadikan publikasi ilmiah berupa paper, atau jurnal nasional maupun internasional sehingga menjadi acuan referensi dalam penelitian selanjutnya.

1.4. BATASAN MASALAH

Agar penelitian ini terarah dan tidak menyimpang dari tujuan, maka penelitian ini memiliki Batasan-batasan sebagai berikut:

1. Stimulasi yang dilakukan hanya stimulasi perekahan *hydraulic fracturing* atau perekahan hidrolik.
2. Sensitivitas parameter yang digunakan hanya geometri rekah dan *proppant*
3. Simulasi menggunakan simulator FracCADE.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Ilmu pengetahuan dan teknologi perminyakan berkembang setiap harinya, hal ini sesuai dengan isi Q.S. Ar-Rahman ayat 33:

Artinya: “Wahai golongan jin dan manusia, jika kamu sanggup menembus (melintasi) penjuru langit dan bumi, maka lintasilah, kamu tidak dapat menembusnya kecuali dengan kekuatan (dari Allah)”. Ayat ini memiliki makna tentang pentingnya sebuah ilmu pengetahuan bagi kehidupan umat manusia, dengan ilmu pengetahuan manusia dapat mengetahui benda-benda yang ada dilangit maupun yang ada dibumi dan dengan ilmu pengetahuan manusia dapat menembus sekat-sekat yang selama ini belum terungkap.

Penelitian tugas akhir yang akan dilakukan ini adalah simulasi pekerjaan stimulasi *hydraulic fracturing* dengan software *FracCADE*. Software *FracCADE* adalah software yang biasa digunakan sebagai alat simulasi perencanaan *design* dan evaluasi *fracturing*. Data-data yang diperlukan untuk simulasi ini adalah data *reservoir*, data kompleksi sumur dan data produksi. Sumur produksi yang akan dilakukan simulasi adalah sumur K yang mengalami penurunan produksi, maka dilakukan stimulasi pada sumur tersebut dengan tujuan untuk meningkatkan produksi minyak dan gas. Stimulasi yang digunakan adalah stimulasi *hydraulic fracturing*.

2.1. HYDRAULIC FRACTURING

Dalam beberapa tahun terakhir teknologi *hydraulic fracturing* telah mengalami perkembangan yang sangat besar, karena penggunaan teknologi ini telah meningkatkan produksi migas di Amerika (Daneshy, 1990). Dan dalam dekade terakhir, metode ini telah berhasil diaplikasikan di Afrika Barat untuk pengembangan *tight reservoir* (Sedda et al., 2018). *Hydraulic fracturing* merupakan sebuah metode untuk perangsangan sumur migas dengan cara memperbesar konduktivitas serta permeabilitas batuan yang bertujuan untuk meningkatkan produksi migas yang pada awalnya mengalami penurunan.

Stimulasi *hydraulic fracturing* juga bisa dilakukan pada sumur yang memiliki permeabilitas tinggi (Olivia, 2020).

Hydraulic fracturing berfungsi untuk meningkatkan nilai permeabilitas reservoir dengan cara membentuk suatu rekahan yang berguna sebagai tempat aliran fluida. *Hydraulic fracturing* dilakukan dengan cara menginjeksikan fluida perekah diatas tekanan rekah formasi (Santoso.R, 2017). Metode ini bertujuan untuk meningkatkan produktivitas sumur dengan cara merekahkan formasi yang mengalami kerusakan, rekahan yang terbentuk akan meningkatkan nilai konduktivitas yang lebih baik (Kurniawan. I, 2015).

2.2. FRACCADE

Fraccade merupakan *software* dari perusahaan Schlumberger yang berguna untuk perencanaan serta evaluasi perekahan. *Fraccade* bisa digunakan untuk *hydraulic fracturing* dan *acid fracturing*. *Fraccade* juga bisa di aplikasikan pada sumur horizontal dan vertical serta sumur *case hole* dan *open hole*. Keuntungan dari *fraccade* ini dapat mengidentifikasi kandidat sumur yang akan di simulasi, bisa menggunakan geometri rekah PKN, KGD dan radial, dapat menggunakan fluida perekah dan *proppant* serta jadwal pemompaan, dan bisa memprediksistimulasi secara akurat. (Stimlab & Acid, n.d.)

2.3. FLUIDA PEREKAH

Fluida perekah adalah suatu fluida/cairan yang berfungsi sebagai perekah formasi yang mengalami kerusakan. Fluida yang diinjeksikan lebih dominan air, dipompakan dengan tekanan tinggi dengan sedikit pasir dan chemical didalamnya (Speight, 2016). Teknologi dan bahan yang digunakan pada *hydraulic fracturing* termasuk air dan bahan kimia, terus berkembang seiring dengan semakin banyaknya operator yang menyempurnakan proses tersebut dibanyak cadangan. Umumnya fluida rekah yang di injeksikan terdiri dari sekitar 90% air, 9% *proppant*, dan 1% atau kurang adalah *additive* (Koplos et al., 2014).

Fluida perekah juga berfungsi untuk membawa *proppant* ke tempat rekahan yang dibentuk. Fungsi fluida perekah terdiri dari empat jenis yaitu, *prepad*, *pad*, *slurry* serta *flush*.

Prepad adalah fluida yang pertama kali dipompakan kedalam formasi, fluida ini berfungsi sebagai pendingin formasi dan pembersih jalan yang akan dilalui fluida berikutnya, biasanya fluida ini memiliki viskositas rendah.

Pad adalah fluida perekah yang memiliki viskositas yang lebih tinggi dari fluida yang sebelumnya, fluida ini berfungsi sebagai awal perekahan serta memperluasnya.

Slurry adalah fluida selanjutnya yang akan diinjeksikan kedalam sumur, viskositas *slurry* memiliki nilai yang lebih tinggi dari *pad*. *Slurry* akan ditambahkan *proppant* yang nantinya akan diinjeksikan kedalam sumur.

Flush adalah fluida perekah terakhir yang diinjeksikan kedalam sumur. Fluida tersebut berfungsi sebagai pendorong *slurry* dan *proppant* supaya tidak tertinggal di dalam sumur.

Untuk pemilihan fluida perekah perlu dilihat parameter-parameter yang menjadi kunci keberhasilan dari stimulasi *hydraulic fracturing*, yaitu :

1. Kompatibilitas; diperlukan uji laboratorium untuk menentukan apakah fluida perekah cocok atau tidak pada formasi
2. Stabilitas; saat penginjeksian fluida perekah harus stabil walaupun berhadapan dengan suhu yang tinggi, untuk mengatasinya diperlukan additif untuk penstabil fluida.
3. Break up dan clean up; fluida perekah harus kembali ke viskositas air setelah pekerjaan sehingga parameter ini sangat penting untuk keberhasilan produksi sumur.
4. Viskositas fluida; parameter ini penting dalam pekerjaan membawa dan menempatkan *proppant* dapat masuk kedalam lubang sumur.
5. *Low Friction Pressure*; tekanan friksi yang didapat karena pemompaan pada lubang yang kecil sangat tidak diinginkan untuk menjadi bertambah besar karena peralatan didalam sumur dan peralatan diatas sumur memiliki keterbatasan tekanan. Untuk mengendalikan parameter ini dapat menggunakan additif *fluid reducer*.

6. Keekonomian; dan yang paling terpenting adalah penggunaan fluida tersebut menghasilkan biaya pekerjaan yang rendah sehingga keuntungan bagi perusahaan dapat bertambah besar.

Pemilihan fluida perekah yang tepat merupakan faktor yang penting dalam sebuah *design* perekahan, karena banyaknya serta besar jumlah dari material akan mempengaruhi hasil yang akan didapatkan pada saat simulasi (Rachmat & Nugroho, 2010)

2.4. PROPPANT

Proppant merupakan salah satu bahan yang berfungsi untuk menyangga atau mengganjal rekahan yang telah terbentuk dari stimulasi *hydraulic fracturing*, pasir merupakan bahan yang paling umum digunakan sebagai *proppant*. Karena biayanya yang relatif murah dan pasir juga umum digunakan pada sumur dengan *pressure closure* yang rendah.

Faktor penting yang mendasari pemilihan jenis *proppant* adalah kekuatan terhadap tekanan yang akan diterimanya setelah pekerjaan selesai, dimana area perekahan akan menutup dan *proppant* akan menjaga area lubang tetap stabil. Pemilihan *proppant* yang akan digunakan biasanya dimulai pada penentuan tekanan yang akan diterima oleh *proppant* tersebut, tiap tipe *proppant* memiliki range tekanan sendiri. Faktor lainnya adalah tingkat kekotorannya yang berdampak pada kestabilan selama pemompaan, berikutnya adalah densitasnya serta kebulatannya yang berdampak pada kemampuan membentuk suatu geometri yang baik. Untuk melihat efektifitas dan keberhasilan dari simulasi ini harus dilakukan analisis sensitifitas konsentrasi *proppant* terhadap *productivity index*. (Amalia, R. 2019).

Proppant yang digunakan dalam operasi *fracturing* diharapkan akan membuat suatu geometry area yang dinyatakan dalam panjang bentuk perekahan (*propped half length*), lebar perekahan (*width fract*) dan tinggi perekahan (*height fract*). Bentuk geometri inilah yang menjadi dasar penentuan hasil/estimasi produksi setelah pekerjaan. Besarnya jumlah *proppant* terpompa secara teori

akan menghasilkan bentuk geometri yang semakin luas yang berdampak terhadap besarnya laju alir produksi sumur setelah *fracturing*.

Setelah itu adalah menentukan ukuran (*mesh size*), semakin besar ukuran mesh akan semakin besar pula permeabilitas yang dibuat olehnya. Ukuran mesh berpengaruh pada ukuran lubang perforasi yang berkaitan dengan penempatan kedalam lubang sumur.

2.5. ADDITIVE

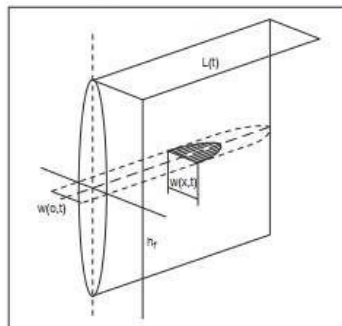
Additive adalah bahan-bahan yang ditambahkan dalam fluida dasar dengan komposisi tertentu sehingga menghasilkan *performance* suatu fluida perekah yang diinginkan. Jenis-jenis additive yaitu *crosslinker* (untuk meningkatkan viskositas dengan pengikatan satu molekul atau lebih), *buffer* (untuk mengontrol pH), *bactericide* (untuk melindungi polymer dari kerusakan yang disebabkan bakteri), *fluid loss additive* (mengontrol kehilangan fluida), *breakers* (untuk memecah rantai *polymer* sehingga encer kembali, dan terakhir *viscosity stabilizer* (untuk menjaga penurunan viskositas pada fluida perekah).

2.6. MODEL GEOMETRI REKAHAN

Geometri rekahan menggambarkan hubungan antara sifat-sifat batuan dan fluida perekah serta distribusi tekanan perekahan pada formasi batuan. Ada dua model yang biasanya diaplikasikan pada Analisa rekahan, adalah;

a. Model PKN; (*Perkins, Kern, & Nordgren*)

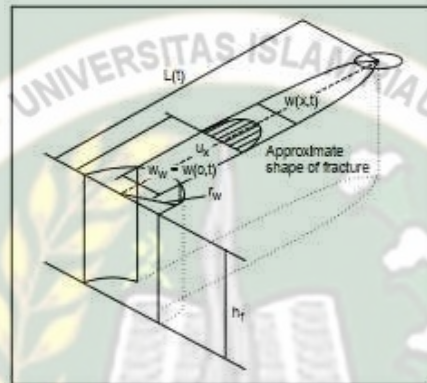
Model ini jika panjang rekah lebih besar daripada tinggi rekahan ($X_f \gg H_f$), model ini mempunyai irisan berbentuk elipse dan berharga nol dibagian ujung-ujungnya.



Gambar 1. 1. Model PKN (Michael. j & Kenneth. G, 2013)

b. Model KGD (Khristianovic-Zhelotov-Geertsma,de Klerk)

Model KGD jika panjang rekahan lebih pendek dari tinggi rekahan ($X_f \ll H_f$), model ini mempunyai lebar yang sama di sepanjang rekahannya dan berbentuk setengah elipse di ujungnya dan model ini rekahannya relative lebih pendek.



Gambar 1. 2. Model KGD (Michael. j & Kenneth. G,

2.7. STATE OF THE ART

Penelitian yang berjudul Perencanaan Design dan Simulasi *Hydraulic fracturing* dengan Permodelan Simulator FracCADE 5.1. Dalam paper ini penulis menggunakan study literatur yang berhubungan dengan perencanaan *design* dan simulasi *hydraulic fracturing* serta mengumpulkan data-data lapangan yang akan digunakan untuk simulasi. Untuk design, penulis menggunakan model rekahan PKN, karena pajang rekahan yang akan terbentuk jauh lebih besar dan untuk *proppant* digunakan *proppant* jenis *sand* dengan ukuran butir 16/30 *mesh*. Setelah memasukkan semua parameter pada simulator, dilakukan simulasi dengan software *FracCADE* 5.1 yang memerlukan data kompleksi sumur dan data reservoir. Setelah dilakukan simulasi nilai konduktivitas dan permeabilitas mengalami peningkatan serta nilai indeks produktivitas setelah simulasi mengalami peningkatan (Pratiwi et al., 2014).

Penelitian yang berjudul Evaluasi Hasil Aplikasi *Hydraulic fracturing* pada *Reservoir* Karbonat Sumur BCN-28 di Struktur APP PT Pertamina EP Asset 2 Pendopo Field yang dilakukan oleh Bimbi Cahyaningsih, dalam penelitian ini menjelaskan hasil evaluasi dari stimulasi *hydraulic fracturing* pada *reservoir* karobonat, dimana dalam evaluasi keberhasilan *hydraulic fracturing* menggunakan data produksi, data *reservoir* dan geometri rekah. Fluida perekah yang digunakan adalah *Spectra Fract 4000* yang berbahan dasar air dan *proppant* yang digunakan adalah *Carbolite 20/40*. Kemudian dilakukan analisis permeabilitas formasi,

productivity index (PI), kurva IPR, dan laju aktual. Dari hasil analisis dinyatakan simulasi peretakan hidrolik pada sumur BCN-28 berhasil dikarenakan terjadi kenaikan laju produksi minyak yang pada awalnya 8 BOPD mnjadi 117 BOPD (Cahyaningsih et al., 2012)

Penelitian yang dilakukan oleh Amira adalah pengaplikasian simulasi *hydraulic fracturing* dengan menggunakan simulator FracCADE pada sumur X-DRAF yang memiliki nilai permeabilitas rendah, setelah mendapatkan semua data yang diperlukan untuk keperluan simulasi dilakukan desain awal dengan simulator FracCADE kemudian dilakukan beberapa tes untuk mencocokkan semua parameter agar simulasi dapat meningkatkan produksi migas. Simulasi ini menggunakan fluida perekah yang berbahan dasar air yaitu YF125ST dan bahan additive lain sebagai campurannya dan *proppant* menggunakan jenis *Sinterball* dan *Ceramic Proppant*. Setelah dilakukan simulasi didapat hasil produksi migas sebesar 332 BOPD yang pada produksi awal adalah 92 BOPD terjadi peningkatan sebesar 240 BOPD (Amira)

Pada jurnal yang berjudul Optimasi Produksi pada Lapisan Conglomerate di Struktur Cemara dengan *Hydraulic fracturing* oleh Hisar Limbong, IATMI, 2008. Jurnal ini menjelaskan tahapan-tahapan yang dilakukan untuk melakukan stimulasi, mulai dari pemilihan kandidat, yaitu pemilihan sumur-sumur yang akan dilakukan stimulasi. Penentuan material dan peralatan *fracturing*, *design fracturing* dan tahapan *fracturing*. Pada jurnal ini dilakukan stimulasi pada sumur CMT-14 dan CMS-29, dimana hasil yang didapat penambahan produksi minyak sampai 2,5 kali lipat (Limbong, 2008).

Pada jurnal yang berjudul “Evaluasi Perekahan Hidrolik pada Sumur Gas Bertekanan Tinggi”, oleh Imam Kurniawan. Dalam jurnal ini penulis mengevaluasi *hydraulic fracturing* psda tiga sumur, sumur X, sumur Y, dan sumur Z. Dari ketiga sumur tersebut akan diketahui kinerja dari setiap sumur sebelum danjuga setelah dilakukan *hydraulic fracturing*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk perbandingan evaluasi keberhasilan *hydraulic fracturing* pada ketiga sumur tersebut yaitu melihat dari perbandingan harga faktor skin sebelum dan sesudah dilakukan dilakukan *hydraulic fracturing*, menghitung harga kenaikan

kelipatan produksi setelah dilakukan *hydraulic fracturing*, serta melihat perbandingan permeabilitas sebelum dan sesudah dilakukan *hydraulic fracturing* (Kurniawan, 2015)

Pada jurnal yang berjudul “*An Integrated Analysis for Post Hydraulic Fracturing Production Forecast in Conventional Oil Sand Reservoir*”, oleh Dedy Kristanto dan Saputra Jagadita. Dalam jurnal ini penulis menganalisis sumur yang telah dilakukan pekerjaan hydraulic fracturing yaitu pada sumur TM#2 yang berlokasi di formasi bekasap cekungan sumatera tengah. Penulis membandingkan dua metode yaitu metode Cinco-Ley, Samaniego and Dominguez dan permodelan software fraccade, setelah dibandingkan metode Cinco-Ley, Samaniego and Dominguez menghasilkan geometri rekah lebih kecil daripada permodelan software fraccade dikarenakan metode Cinco-Ley, Samaniego and Dominguez tidak mempertimbangkan karakteristik batuan serta karakteristik fluida. Kedua metode tersebut menghasilkan nilai productivity index yang hampir sama dengan produksi aktual. Konsep ini bisa sesuai digunakan untuk pengukuran cepat untuk skenario produksi untuk menyelesaikan permasalahan pump settings pada metode artificial lift (Kristanto, 2020).

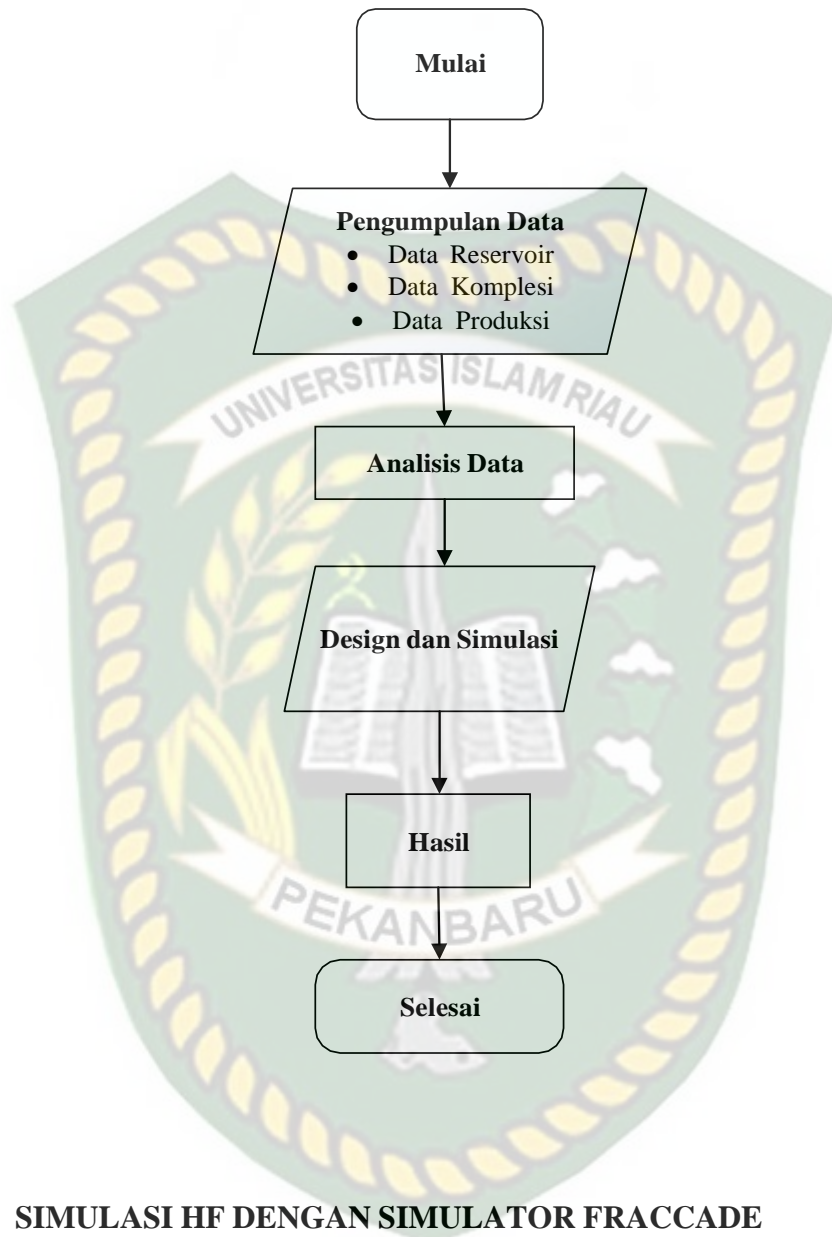
BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. URAIAN METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode penelitian analisis data, yang mana data yang sudah didapatkan dari perusahaan kemudian diolah dalam rangka menjawab rumusan masalah. Dalam rangka mendapatkan jawaban dari rumusan masalah pada penelitian ini diperlukan teknik analisis data dimana perlunya dukungan dari hasil penelitian terdahulu, dan mengolah data dengan studi kasus yang terjadi dilapangan. Berikut metodologi dalam penelitian tugas akhir ini sebagai berikut:

1. Mengumpulkan jurnal, paper dan hasil penelitian yang berhubungan dengan hydraulic fracturing dan perencanaan hydraulic dengan software fraccade.
2. Mengumpulkan data dan sejarah lapangan yang berhubungan dengan penelitian tugas akhir yaitu data produksi, well completion serta karakteristik sumur.
3. Menganalisis data sumur yang akan digunakan pada software fraccade.
4. Menentukan model rekahan, *proppant* dan fluida perekah yang tepat untuk sumur.
5. Menarik kesimpulan dari hasil penelitian.

3.2. ALUR PENELITIAN



3.3. SIMULASI HF DENGAN SIMULATOR FRACCADE

Perencanaan simulasi *hydraulic fracturing* memerlukan data *reservoir* dan data kompleksi sumur. Data tersebut berupa parameter-parameter yang diperlukan untuk memperoleh geometri rekahan, konduktivitas serta permeabilitas dan juga dapat menentukan *proppant* dan fluida pererah yang cocok untuk di aplikasikan pada job *hydraulic fracturing*.

3.3.1. PENENTUAN MODEL REKAHAN

Dalam perencanaan *design hydraulic fracturing* hal yang pertama dilakukan adalah memilih model rekahan yang akan di aplikasikan ke simulator *hydraulic fracturing*, model rekahan *hydraulic fracturing* mempunyai dua model, yaitu model rekahan PKN dan model rekahan KGD. Untuk model rekahan PKN mempunyai panjang rekahan lebih besar daripada tinggi rekahan dan model rekahan KGD mempunyai panjang rekahan lebih pendek dari tinggi rekahan.

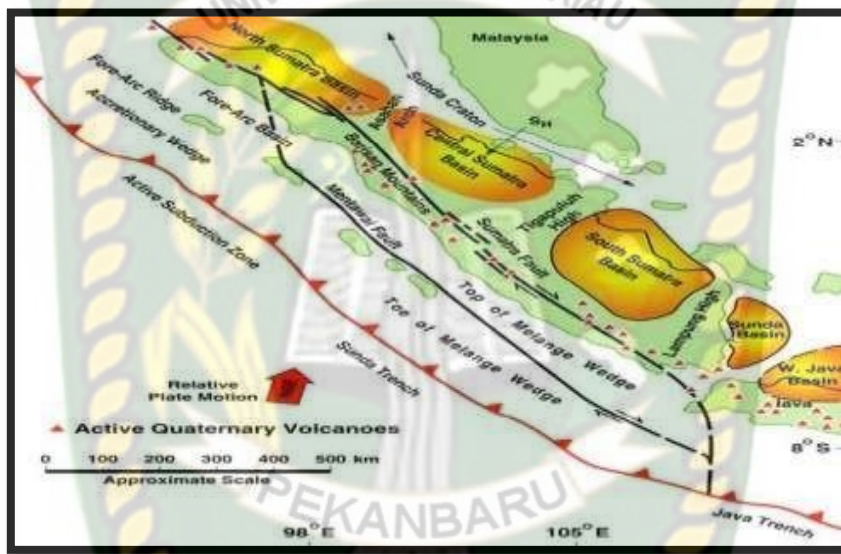
3.3.2. PENENTUAN *PROPPANT*

Proppant adalah suatu material solid yang digunakan untuk mengganjal rekahan yang terbentuk tidak tertutup kembali, dimana akan terbentuk saluran konduktif sebagai jalan terproduksinya fluida, dan *proppant* juga harus dapat menahan tekanan (*closure stress*) yang diberikan setelah *proppant* ditempatkan pada rekahan

Hal-hal yang mempengaruhi pemilihan *proppant* adalah ukuran *proppant*, konsentrasi *proppant*, bentuk butiran *proppant*, kualitas *proppant*, kekuatan *proppant* serta keekonomisan *proppant* itu sendiri. Jenis-jenis *proppant* terbagi atas empat jenis, yaitu: *Sand*, *Resin Coated Sand*, *Ceramic* dan *Resin Coated Ceramic*.

3.4. TEMPAT PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan pada cekungan Sumatera tengah, yaitu pada sumur K, dimana sumur ini merupakan bagian dari formasi H yang ada di lapangan N. Formasi H berumur Miosen Awal-Miosen Tengah (N7-N11). Litologinya tersusun oleh batuan sedimen yang didominasi oleh serpih dengan sisipan batu lanau gampingan, berwarna abu kecoklatan, setempat dijumpai batugamping. Ketebalan formasi ini mencapai 1600 kaki. Formasi ini dikenal sebagai batuan tudung dari reservoir Kelompok Sihapas di Cekungan Sumatra Tengah. Formasi inilah yang diperkirakan menjadi baruan tudung pada Lapangan K.



Gambar 3. Peta Regional Cekungan Sumatera Tengah

Penelitian ini menggunakan data lapangan K sumur N, dimana metoda yang digunakan adalah data lapangan (*Case Study*). Adapun data yang dibutuhkan adalah sebagai berikut:

Data Reservoir:

Karakteristik	Satuan
Tekanan reservoir (Psi)	530
Porositas (%)	36
Saturation water (%)	70
Boi (BBL/STB)	1,05
Permeabilitas (mD)	29
Oil Viscosity (cP)	14

Temperatur reservoir (F)	136
Oil gravity (API)	30.8
Pwf (Psi)	475,93
SG Oil	0.87
Salinitas (Ppm)	500-1000

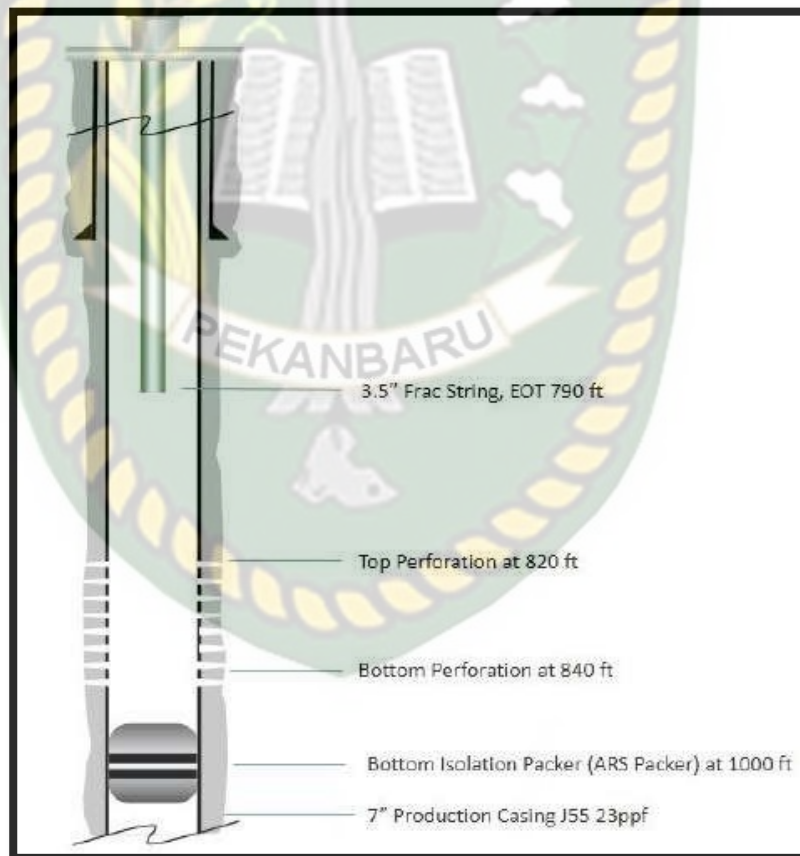
3.5. JADWAL PENELITIAN

Jadwal kegiatan yang akan dilakukan selama penelitian sesuai dengan tabel

No.	TAHAP PENELITIAN	Maret 2020		April 2020				Mei 2020				
		3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
1.	Studi Literatur											
2.	Pengumpulan data											
3.	Perencanaan											
4.	Analisa Hasil											
5.	Kesimpulan											

BAB IV PEMBAHASAN

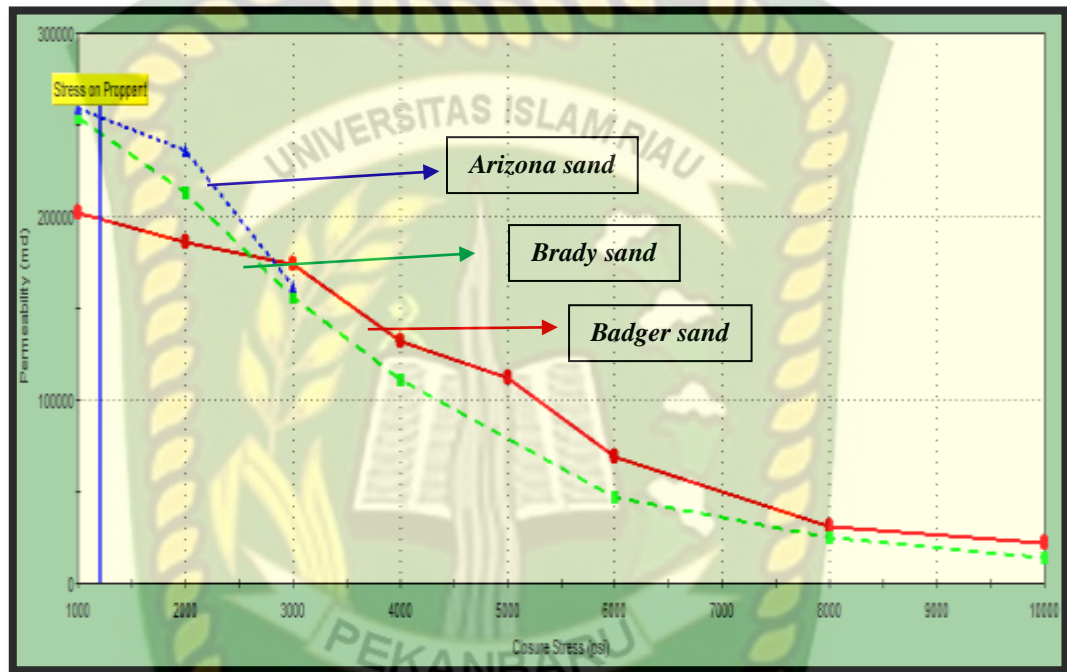
Penelitian ini dilakukan menggunakan *simulator Fraccade*, yang mana dalam *simulator* ini juga melakukan pemodelan sumur, adapun tujuan dibuatnya pemodelan sumur ini berupaya menyerupai keadaan sumur di lapangan. Pada gambar 4.1 terdapat data mengenai data *wellbore configuration* yang mana berisikan parameter *drilled hole*, *casing configuration*, dan *tubing configuration*. Sumur ini merupakan sumur vertical dengan RBP di 1000ft, dengan casing production 7" dan 3" untuk *fracture string* hingga kedalaman 790 ft. Perforasi sumur ini berada pada interval 820 ft – 840 ft MD.



Gambar 4. 1 Wellbore Schematic

4.1 SPESIFIKASI PROPPANT

Dalam melakukan simulasi *fracturing* peneliti menggunakan tiga jenis *proppant* yaitu *badger frac sand*, *brady sand* dan *arizona sand*. *Badger frac sand* merupakan jenis pasir putih monokristalin yang terdiri dari butiran yang merupakan kristal kuarsa tunggal, dan memiliki kekuatan lebih besar dibandingkan dengan pasir lainnya (Esmaeilirad et al., 2016).

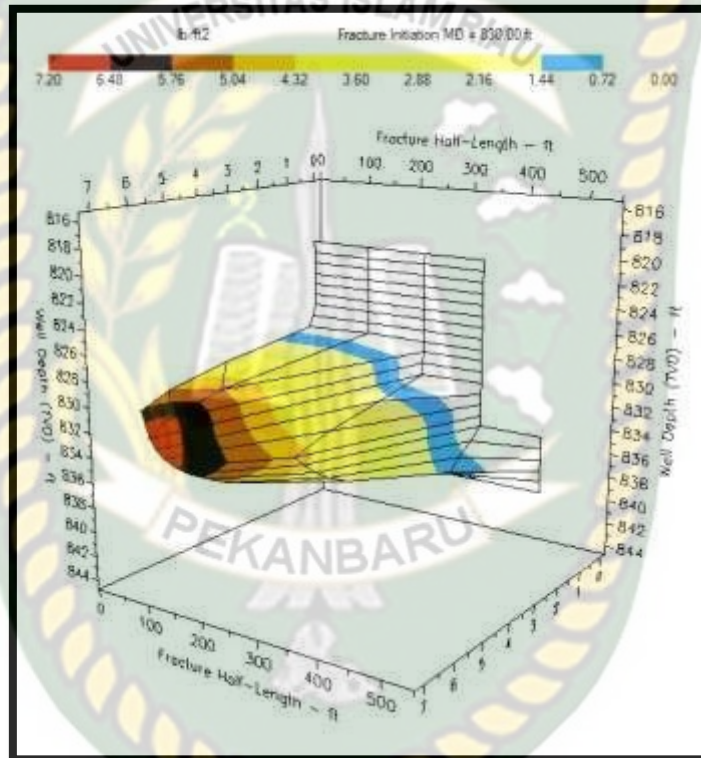


Gambar 4. 2 Proppant Permeability

Brady sand adalah pasir berkualitas tinggi lainnya yang digunakan untuk rekahan, yang dicirikan oleh sedikit angularitas dan keberadaan feldspar. Juga dikenal sebagai pasir coklat karena warnanya, pasir ini dianggap memiliki kualitas pasir yang lebih rendah dibandingkan dengan pasir *jordan*, *ottawa*, dan *badger*. Sedangkan *arizona sand* menunjukkan sifat yang mirip dengan *badger frac sand* pada stress level kurang dari 2000 psi. Namun jika *stress level* kurang dari 2000 psi, *arizona sand* memiliki kualitas yang lebih buruk dari pada *badger fract sand*. (Pica et al., 2017).

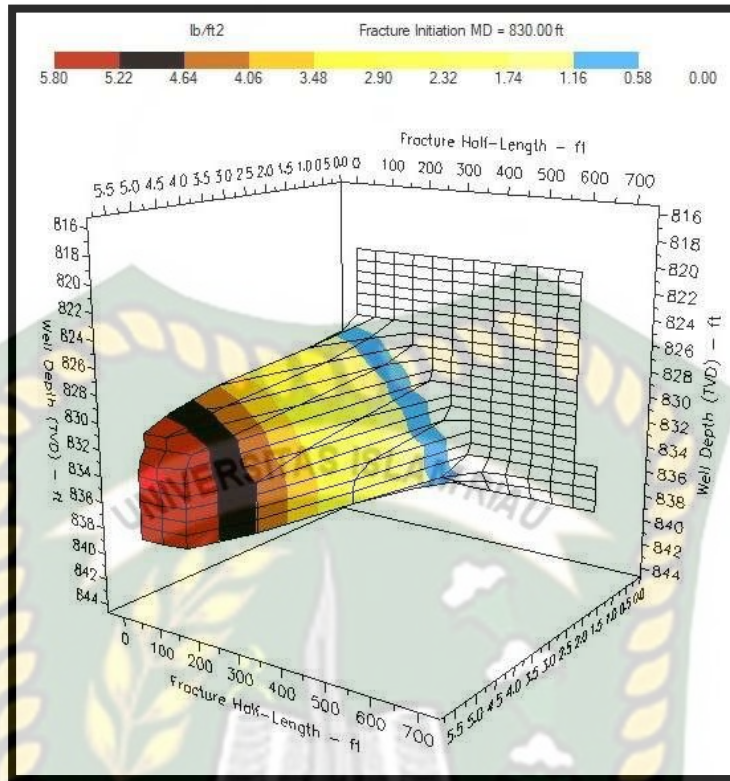
4.2 MODEL GEOMETRI REKAHAN

Berdasarkan tingkat stress batuan, mekanika batuan serta sifat-sifat fluida dan kondisi injeksi fluida seperti viskositas, *rate* injeksi dan tekanan injeksi, terbentuklah model geometri rekahan batuan. Model geometri rekahan yang terbentuk meliputi ukuran dan bentuk rekahan seperti geometri model rekahan PKN & geometri model rekahan KGD (Smith et al., 2000). Pada penelitian ini ada 2 model geometri rekahan tersebut yang digunakan untuk mensimulasikan metode *hydraulic fracturing* pada sumur N.



Gambar 4. 3 Hasil Penyebaran *Proppant* pada model geometri rekahan PKN

Model geometri rekahan PKN merupakan suatu model rekahan yang mempunyai irisan berbentuk elipse dan berharga nol dibagian ujung-ujungnya. Model rekahan PKN memiliki panjang rekahan yang lebih besar dibanding model rekahan KGD. Model Geometri rekahan KGD mempunyai lebar yang sama di sepanjang rekahannya dan berbentuk setengah elipse di ujungnya dan model ini rekahannya relative lebih pendek. Pada hasil simulasi dengan menggunakan kedua model geometri PKN dan KGD, Penyebaran *proppant* lebih terlihat pada model geometri rekahan KGD.



Gambar 4. 4 Hasil Penyebaran *Proppant* pada model geometri rekahan KGD

4.3 SKENARIO

Pemodelan simulasi *hydraulic fracturing* pada penelitian ini menggunakan beberapa skenario untuk mendapatkan tujuan yang diinginkan. Penerapan *hydraulic fracturing* pada penelitian terdapat parameter untuk uji sensitivitas dan ada parameter tetap. Parameter tetap seperti fluida rekah dan additive, sedangkan yang menjadi parameter sensitivitas adalah model geometri rekahan dan jenis proppant. Untuk parameter tetap seperti fluida perekah, digunakan fluida perekah berbahan air, fluida perekah jenis ini paling banyak digunakan karena aksesibilitas air yang tinggi serta memiliki fleksibilitas tinggi yang dapat dengan mudah diubah fungsinya menjadi kental dengan penambahan aditif untuk meningkatkan kemampuannya dalam pengangkatan *proppant* yakni *polymer* (Zoveidavianpoor & Gharibi, 2015).

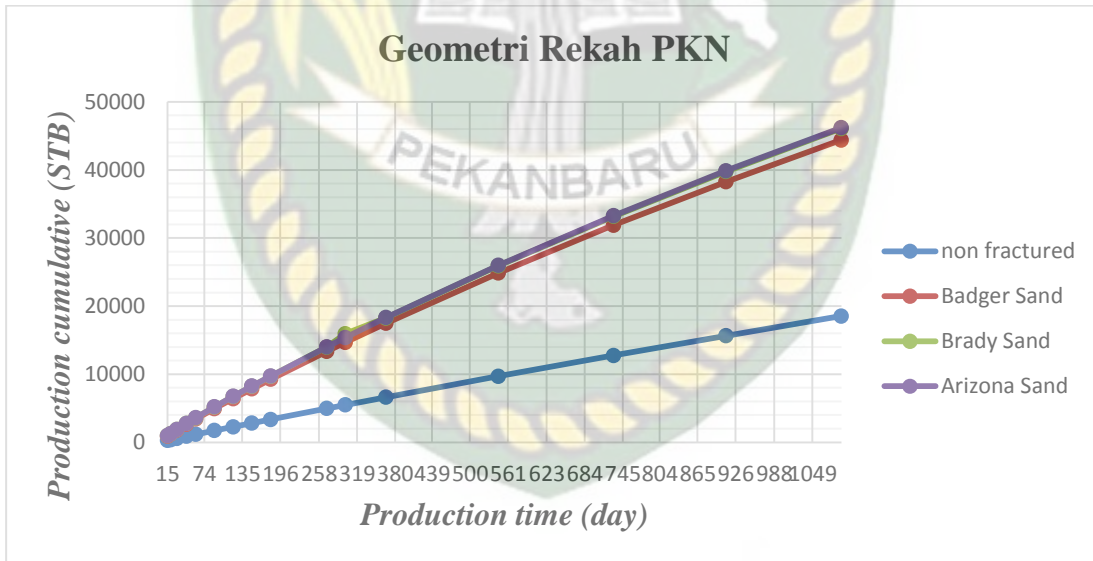
Berdasarkan dari variasi model geometri rekahan dan *proppant* yang dilakukan, peneliti ingin mencari tahu mengenai keberhasilan *hydraulic fracturing* dengan masing-masing model geometri rekahan dan *proppant* yang mana dari enam skenario menghasilkan enam hasil pembahasan. Untuk memperjelas lagi variasi dari skenario antara model rekahan dan *proppant* bisa dilihat di tabel 4.4.

Tabel 4. 1 Skenario variasi tipe rekahan dan jenis *proppant*

Model Geometri Rekahan	Jenis <i>Proppant</i>		
		<i>Badger sand</i>	<i>Brady sand</i>
PKN	A1	A2	A3
KGD	B1	B2	B3

4.1 ANALISIS KEBERHASILAN *HYDRAULIC FRACTURING* PADA SUMUR N

Keberhasilan dari penerapan *hydraulic fracturing* bisa akita lihat dari perbandingan kumulatif produksi antara scenario tanpa penerapan metode *fracturing* dengan scenario penerapan *hydraulic fracturing* pada sumur N. Pada gambar dibawah ini terdapat hasil kumulatif produksi dari penerapan metode *hydraulic fracturing* dengan penggunaan berbagai macam jenis *proppant* dan dengan menggunakan model geometri PKN.



Gambar 4. 5 Grafik I kumulatif produksi dengan model geometri PKN

Tabel 4. 2 Hasil kumulatif produksi dengan menggunakan model geometri PKN

Production Time (Days)	Non Fractured	<i>Badger sand</i> 20/40	<i>Brady sand</i> 20/40	Arizona 20/40
15	298	918	969	972
20	397	1219	1286	1290
30	592	1795	1893	1899
45	879	2621	2760	2769
60	1163	3414	3592	3604
90	1722	4944	5193	5210
120	2274	6418	6734	6755
150	2821	7854	8234	8260
180	3363	9262	9702	9732
270	4968	13353	13965	14007
300	5496	14676	15942	15387
365	6630	17482	18260	18313
545	9704	24854	25910	25982
730	12763	31881	33182	33270
910	15649	38254	39762	39864
1095	18526	44389	46083	46198

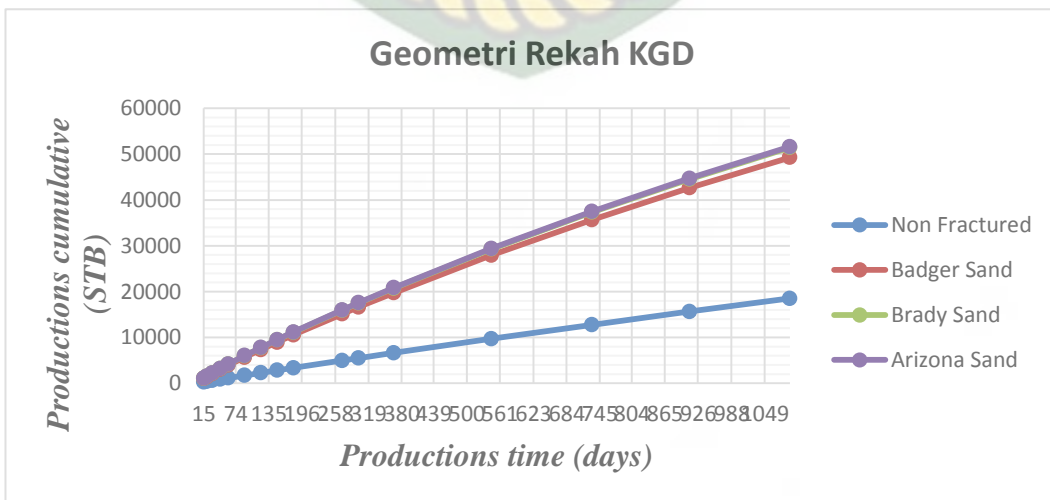
Dari hasil pengujian model rekahan geometri PKN dengan 3 jenis *proppant*, terlihat hasil terbaik adalah pada tipe *proppant* Arizona, terlihat dari table diatas, nilai kumulatif produksi selama 3 tahun produksi yang paling tinggi dibandingkan tanpa melakukan *fract* dan dibandingkan dengan menggunakan 2 jenis *proppant* lainnya, dimana dengan menggunakan *proppant* jenis Arizona pada model geometrirekahan PKN terlihat nilai kumulatif produksi sebesar 46198 STB atau selisih 33435 STB dibanding tidak melakukan *Fract*, selisih 1809 STB dibanding *proppant Badger* dan selisih 115 STB dibanding *proppant* tipe Brady.

Sedangkan dengan menggunakan model geometri rekahan KGD, hasil kumulatif produksi terlihat lebih besar dibandingkan dengan model PKN. Dengan kumulatif produksi terbesar yang didapat pada sumur N ini adalah sebesar 51614 STB.

Tabel 4. 3 Hasil kumulatif produksi dengan menggunakan model geometri KGD

Production Time (Days)	Non Fractured	Badger sand 20/40	Brady sand 20/40	Arizona 20/40
15	298	1067	1134	1140
20	397	1415	1504	1512
30	592	2081	2210	2221
45	879	3028	3212	3228
60	1163	3935	4169	4189
90	1722	5673	6001	6030
120	2274	7342	7775	7793
150	2821	8961	9460	9504
180	3363	10548	11124	11174
270	4968	15138	15935	16005
300	5496	16618	17484	17560
365	6630	19747	20756	20844
545	9704	27923	29283	29402
730	12763	35654	37318	37464
910	15649	42619	44536	44704
1095	18526	49284	51427	51614

Dari hasil pengujian model rekahan geometri KGD dengan 3 jenis *proppant*, terlihat hasil terbaik ada pada tipe *proppant* Arizona, terlihat dari table diatas, nilai kumulatif produksi selama 3 tahun produksi yang paling tinggi dibandingkan tanpa melakukan fract dan dibandingkan dengan menggunakan 2 jenis *proppant* lainnya, dimana dengan menggunakan *proppant* jenis Arizona pada model geometri rekahan KGD terlihat nilai kumulatif produksi sebesar 51614 STB atau selisih 33088 STB dibanding tidak melakukan Fract, selisih 2330 STB dibanding *proppant* Badger dan selisih 187 STB dibanding *proppant* tipe Brady.



Gambar 4. 6 Grafik kumulatif produksi dengan menggunakan geometri KGD

BAB V

KESIMPULAN & SARAN

5.1 KESIMPULAN

Adapun kesimpulan pada penelitian ini adalah:

1. Model geometri rekahan yang disimulasikan adalah model rekahan PKN dan KGD, namun model geometri rekahan KGD lebih disarankan untuk digunakan karena penyebaran *proppant* pada model geometri ini lebih banyak tersebar.
2. Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan, jenis proppan yang cocok untuk sumur N adalah *proppant Arizona sand*. Dengan penggunaan *proppant* ini produksi kumulatif yang didapatkan lebih besar daripada dengan menggunakan *proppant badger dan brady sand*.
3. Berdasarkan hasil yang didapat dengan menggunakan simulasi, scenario dengan penggunaan *proppant* Arizona dan dengan model rekahan KGD menunjukkan hasil yang tertinggi dibandingkan dengan scenario lain karena penyebaran *proppant* yang lebih banyak tersebar. Produksi kumulatif minyak yang didapatkan pada scenario ini mencapai 51614 STB.

5.2 SARAN

Setelah melakukan penelitian, ada beberapa saran yang dapat dilakukan oleh peneliti selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Melakukan analisis pengaruh jenis *proppant* yang lain.
2. Menghitung nilai keekonomiannya pada software tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Amalia, R. (2019). *Sensitivitas Konsentrasi Proppant Terhadap Peningkatan Indeks Produktivitas (Pi) Pada Stimulasi Hydraulic Fracturing*. Jurnal Pertambangan. 3(3), 20–26
- Cahyaningsih, B., Prabu, U. A., Herlina, W., Pertambangan, J. T., Teknik, F., & Sriwijaya, U. (2012). *Evaluasi Hasil Aplikasi Hydraulic Fracturing Pada Reservoir Karbonat Sumur Bcn-28 Di Struktur App Pt Pertamina Ep Asset 2 Pendopo Field Evaluation Of Application Hydraulic Fracturing Result At Carbonate Reservoir Bcn-28 Well App Structure In Pt Pertamina* .
- Daneshy, A. (1990). *Hydraulic Fracturing To Improve Production*. 14–17.
- Esmailirad, N., Terry, C., Kennedy, H., Prior, A., & Carlson, K. (2016). Recycling Fracturing Flowback Water For Use In Hydraulic Fracturing: Influence Of Organic Matter On Stability Of Carboxyl-Methyl-Cellulose-Based Fracturing Fluids. *Spe Journal*, 21(04), 1358–1369.
- Suwardi. 2009. *Evaluasi Hydraulic Fracturing Dalam Rangka Meningkatkan Produktivitas Formasi*. Jurnal Ilmu Kebumihan Teknologi Mineral. Vol.22 No.2 182-190.
- Geomine, J., Umar, E. P., Pradana, E. R., Husain, J. R., & Nurwaskito, A. (2017). *Perbandingan Hasil Produksi Berdasarkan Pengaruh Workover Terhadap Hasil Produksi Sumur Walio 212 Pt . Petrogas (Basin) Ltd , Kabupaten Sorong ,. 5(3), 120–123*.
- Gharibi, A., & Zoveidavianpoor, M. (2015). Akademia Baru Hydraulic Fracturing For Improved Oil Recovery Akademia Baru. *Journal Of Advanced Research In Fluid Mechanics And Thermal Sciences Issn*, 9(1), 1–18.
- Amira. 2017. *Aplikasi Hydraulic Fracturing Dengan Teknik J-Frac Pada Sumur “X-Draf” Lapangan “Amr”*. Universitas Trisakti.
- Kolawole, O., Esmailpour, S., Hunkey, R., Saleh, L., Ali-Alhaj, H. K., & Marghani, M. (2019). Optimization Of Hydraulic Fracturing Design In Unconventional Formations: Impact Of Treatment Parameters. *Society Of Petroleum Engineers - Spe Kuwait Oil And Gas Show And Conference 2019*,

Kogs 2019. <https://doi.org/10.2118/198031-MS>

Koplos, J., Tuccillo, M. E., & Ranalli, B. (2014). Hydraulic Fracturing Overview: How, Where, And Its Role In Oil And Gas. *Journal - American Water Works Association*, 106(11), 38–46. <https://doi.org/10.5942/jawwa.2014.106.0153>

Santoso, R.R. (2017). *Evaluasi Keberhasilan Perekahan Hidrolik Pada Sumur R Lapangan X. Seminar Nasional Cendekiawan ke 3*. 251–256.

Limbong, H. (2008). Optimasi Produksi Lapisan Conglomerate Di Struktur Cemara Dengan Hydraulic Fracturing. *Iatmi*, 15.

Michael, J. E., & Kenneth, G. N. (2013). Reservoir Stimulation. *Wiley New York*, 18. <https://doi.org/10.1017/Cbo9781107415324.004>

Kristanto, D. Saputra, J. 2020. *An Integrated Analysis for Post Hydraulic Fracturing Production Forecast in Conventional Oil Sand Reservoir*. Universitas Pembangunan Nasional Yogyakarta.

Olivia, D. (2020). *Evaluasi Hasil Hydraulic Fracturing Pada Formasi Batupasir Berpermeabilitas Rendah Sumur Dia-13 Lapangan Athena*.

Kurniawan, I. (2015). *Evaluasi Perekahan Hidrolik pada Sumur Gas Bertekanan Tinggi*. Seminar Nasional Cendekiawan 519–531.

Pica, N. E., Terry, C., & Carlson, K. (2017). Optimization Of Apparent Peak Viscosity In Carboxymethyl Cellulose Fracturing Fluid: Interactions Of High Total Dissolved Solids, Ph Value, And Crosslinker Concentration. *Spe Journal*, 22(02), 615–621.

Prasetyo, P. Vian. (2020). *Desain Perekahan Hidrolik Dan Analisa Parameter Dimensionless Fracture Conductivity Terhadap Laju Produksi Sumur Mu-1, Lapangan Ot*.

Pratiwi, V. A., Prabu, U. A., Herlina, W., Pertambangan, J. T., Teknik, F., Sriwijaya, U., Raya, J., Inderalaya, P. K., & Selatan, S. (2014). *Perencanaan Design Dan Simulasi Hydraulic Fracturing Dengan Permodelan Simulator Fraccade 5 . 1 Serta Keekonomiannya Pada Formasi Lapisan W3 Sumur Kajian Va Struktur Limau Barat Pt Pertamina Ep Asset 2 Field Limau Design And Simulation Of Hydraulic Fractu*.

- Rachmat, S., & Nugroho, S. E. (2010). *Pengaruh Ukuran Butir dan Penempatan Proppant Terhadap Optimasi Perekahan Hidraulik Sumur Minyak*. JTM Vol.XVII No.2 107-116.
- Rahman, K., He, W., & Gui, F. (2014). Reservoir Simulation With Hydraulic Fractures: Does It Really Matter How We Model Fractures? *Society Of Petroleum Engineers - Spe Asia Pacific Oil And Gas Conference And Exhibition, Apogce 2014 - Changing The Game: Opportunities, Challenges And Solutions, 1*, 32–45. <https://doi.org/10.2118/171403-MS>
- Ramones, M., Gutierrez, L., & Moran, M. (2015). *Unlocking A Mature Field Reservoir Potential Through Optimized Fit-For-Purpose Hydraulic Fracturing*. <https://doi.org/10.2118/177219-MS>
- Ryan, I., Pratama, H., & Trisakti, U. (2017). *Data Reservoir Geometri Fracturing Pressure , Pressure , Time , Lity , Frac Extention Pressure Breakdown , Step Rate ,*. 111–116.
- S, E. E. D., & Abror, H. (2020). *Optimasi Panjang Hydraulic Fracture Pada Reservoir Non- Konvensional Dengan Metode Uniform Conductivity Rectangular Fracture Energy Needs In The Future Will Continue To Grow Along With The Growth Of The Population . The Solution To This Need Is The Develo*. 13(April), 6–10.
- Sedda, P., Parziale, S., Giammancheri, M., Forno, L. D., Ferdinandi, F., Farina, L., & Tsangueu, B. E. (2018). *Spe-191422-18ihft-MS Multistage Hydraulic Fracturing Campaign Learning Curve In A Tight Sandstone Reservoir , Offshore West Africa Completion Types For Multistage Hydraulic Fracturing*.
- Smith, M. B., Shlyapobersky, J. W., Economides, M. J., & Nolte, K. G. (2000). *Basics Of Hydraulic Fracturing. Reservoir Stimulation, 3*.