

**ANALISIS TEKANAN HIDRAULIK PADA SUMUR-SUMUR
YANG MENGGUNAKAN *ARTIFICIAL LIFT HYDRAULIC
PUMPING UNIT (HPU)* DI LAPANGAN Y**

TUGAS AKHIR

Diajukan guna melengkapi syarat dalam mencapai gelar Sarjana Teknik



Dokumen ini adalah Arsip Milik :

Perpustakaan Universitas Islam Riau

**PROGRAM STUDI TEKNIK PERMINYAKAN
UNIVERSITAS ISLAM RIAU
PEKANBARU
2019**

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas akhir ini disusun oleh :

Nama : Irzul Ananda
NPM : 133210409
Program Studi : Teknik Perminyakan
Judul Skripsi : *Analisis Tekanan Hidraulik Pada Sumur-Sumur Yang Menggunakan Artificial Lift Hydraulic Pumping Unit (HPU) Di Lapangan Y*

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

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

Pengaji I : Idham Khalid, ST., MT)

Pengaji II : Novrianti, ST ., MT)

Ditetapkan di : Pekanbaru

Tanggal : 30 November 2019

Disahkan Oleh:



Ir. H. ABD. KUDUS ZAINI, MT. MS. Tr

**KETUA PROGRAM STUDI
TEKNIK PERMINYAKAN**



Dr. ENG. MUSLIM, 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 di cabut gelar yang telah saya peroleh.



Dokumen ini adalah Arsip Milik :

KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah penulis ucapan kepada Allah Subhanallahu wa ta'ala yang telah memberikan limpahan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir. Shalawat dan salam penulis ucapan kepada Nabi Muhammad Shallallahu 'alaihi wa sallam, semoga kita mendapat syafa'at di akhirat kelas. Tugas Akhir ini disusun untuk melengkapi syarat dalam mencapai Gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Perminyakan, Universitas Islam Riau.

Penulis menyadari bahwa banyak pihak yang telah memberikan kontribusi semangat dan dorongan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini. Tanpa bantuan dari mereka tentu akan sulit rasanya untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik ini. Oleh karena itu Penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Ir. H. Ali Musnal, MT selaku dosen pembimbing yang telah memberikan segenap perhatian dalam masalah penulisan Tugas Akhir ini.
2. Ibuk Dr. Mursyidah, M.Sc. selaku dosen pembimbing akademik yang telah memberi arahan, nasihat, penyemangat selama menjalani perkuliahan di Teknik perminyakan.
3. Bapak Dr. Eng. Muslim, MT selaku Ketua Prodi Teknik Perminyakan Universitas Islam Riau.
4. Bapak Weliyanto Hidayat selaku Project Manager yang telah memberikan kesempatan untuk pengambilan data dan bimbingan untuk Tugas Akhir saya, Sekaligus mentor di lapangan yang telah banyak membimbing dan memberikan masukan dalam penulisan Tugas Akhir ini.
5. Orang tua dan keluarga atas segala kasih sayang, dukungan moril maupun materil yang selalu diberikan sampai penyelesaian Tugas Akhir ini.
6. Sahabat PERLOB yang telah mendukung dan memberi motivasi saya dalam penulisan Tugas Akhir ini.
7. Sahabat dan rekan kerja di perusahaan yang selalu memberikan semangat dan motifasi dalam penulisan Tugas Akhir ini.
8. Sanak family yang telah memberikan motifasi dan pencerahan dalam penulisan Tugas Akhir ini.

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, 30 November 2019

Penulis,



IRZUL ANANDA



Dokumen ini adalah Arsip Milik :

Perpustakaan Universitas Islam Riau

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL DEPAN	i
HALAMAN SAMPUL DALAM.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR LAMPIRAN	x
DAFTAR SINGKATAN.....	xi
DAFTAR ISTILAH DAN SIMBOL.....	xii
ABSTRAK	xiv
ABSTRACT	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	2
1.3 Manfaat Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Penelitian sebelumnya	3
BAB III TINJAUAN LAPANGAN	7
3.1 Jenis dan pendekatan penelitian	7
3.1.1 Jenis Dan Sumber Data	7
3.2 <i>Flowchart</i> penelitian.....	8
3.3 Komponen utama peralatan (HPU)	9
3.3.1 <i>Power pack</i>	9
3.3.2 <i>Hydraulic jack</i>	9
3.3.3 Peralatan pompa di pbawah permukaan	9
3.3.4 Prinsip kerja <i>Hydraulic Pumping Unit</i> (HPU)....	11
3.3.5 Perhitungan efisiensi volumetris (HPU)	12

3.3.6 Penentuan total <i>load</i> dan <i>hydraulic pressure</i> (HPU)	13
3.4 Lokasi Lapangan.....	14
3.4.1 Aspek Geologi Lapangan.....	15
3.5 Jadwal Penelitian	15
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN PENELITIAN.....	16
4.1 Hasil Perhitungan dan pembahasan efisiensi volumetric pompa HPU pada sumur-sumur di lapangan Y	16
4.2 Hasil Perhitungan dan pembahasan pada <i>hydraulic pressure</i> di sumur X lapanga Y	17
4.3 Pengaruh total <i>load</i> terhadap <i>hydraulic pressure</i>	18
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	21
5.1 Kesimpulan.....	21
5.2 Saran.....	21
DAFTAR PUSTAKA	22
LAMPIRAN I	24
LAMPIRAN II.....	27



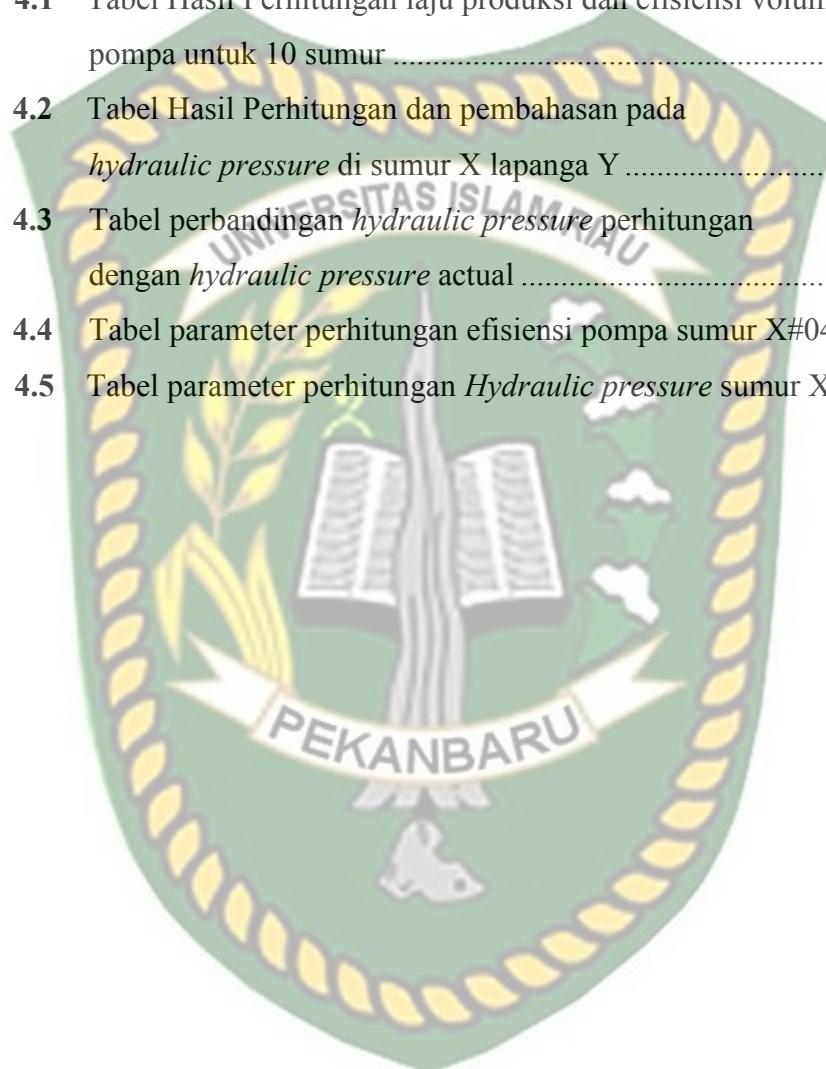
DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian.....	8
Gambar 4.1	Total load Vs hydraulic Pressure.....	18
Gambar 4.2	Grafik perbandingan <i>hydraulic pressure</i> perhitungan dengan <i>hydraulic pressure</i> actual.....	19



DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Data Tubing	9
Tabel 3.2	Data <i>Plunger</i> Pompa	10
Tabel 3.3	Data <i>Sucker Rod</i>	11
Tabel 4.1	Tabel Hasil Perhitungan laju produksi dan efisiensi volumetric pompa untuk 10 sumur	16
Tabel 4.2	Tabel Hasil Perhitungan dan pembahasan pada <i>hydraulic pressure</i> di sumur X lapanga Y	17
Tabel 4.3	Tabel perbandingan <i>hydraulic pressure</i> perhitungan dengan <i>hydraulic pressure</i> actual	19
Tabel 4.4	Tabel parameter perhitungan efisiensi pompa sumur X#043	24
Tabel 4.5	Tabel parameter perhitungan <i>Hydraulic pressure</i> sumur X#043.....	27



DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN I Parameter perhitungan efisiensi pompa sumur X#043

LAMPIRAN II Parameter perhitungan *Hydraulic pressure* sumur X#043



Dokumen ini adalah Arsip Milik :

Perpustakaan Universitas Islam Riau

DAFTAR SINGKATAN

ATP	Artificial Teknologi Persada
API	<i>American Petroleum Institute</i>
BFPD	<i>Barrel Fluid Per day</i>
BOPD	<i>Barrel Oil Per day</i>
PD	<i>Pump Displacement, BFPD</i>
SRP	<i>Sucker Rod Pump</i>
Psi	<i>Pound per square in</i>
In	<i>Inchi</i>
Ft	<i>Feet</i>
Lb	<i>Pounds</i>
SPM	<i>Stroke per menit</i>
SL	<i>Stroke Length,in</i>
WC	<i>Water Cut, %</i>
Sq	<i>Square</i>
Sec	<i>Second</i>
SV	<i>Standing Valve</i>
TV	<i>Traveling Valve</i>
SR	<i>Sucker Rod</i>



Dokumen ini adalah Arsip Milik :

Perpustakaan Universitas Islam Riau

DAFTAR ISTILAH DAN SIMBOL

V	<i>Pump Displacement, BFPD</i>
SL	<i>Stroke Length, in</i>
N	Kecepatan pompa, spm
Ap	Luas area <i>plunger</i> , sq.in
Q	Laju alir sumur, BFPD
α	<i>Mill's acceleration factor</i>
g	Percepatan Gravitasi, ft/sec
V_p	Kecepatan partikel, ft/sec
r_e	Jari-jari lingkaran, in
Ev	<i>Volumetric efficiency, %</i>
Wr_{total}	Berat total <i>rod string</i> , lb
Wr_1	Berat <i>rod</i> bagian atas, lb/ft
Wr_2	Berat <i>rod string</i> bagian bawah, lb/ft
L_1	Panjang <i>rod</i> bagian atas, ft
L_2	Panjang <i>rod</i> bagian bawah, ft
W_f	Berat fluida, lb
Wr	Berat <i>rod string</i> , lb/ft
Ap	Luas irisan <i>plunger</i> , sq.in
L	Kedalaman pompa, ft
G	<i>Spesific gravity</i> fluida
D	Diameter pompa, in
F	Beban gesekan, lb
$MPRL$	Minimum <i>Polished rod Load</i> , lb
$PPRL$	Peak <i>Polished Rod Load</i> , lb
F	Faktor Gesekan, lb
S_{\max}	<i>Stress rod maksimum</i> , psi

DAFTAR ISTILAH DAN SIMBOL (Lanjutan)

S_{min}	<i>Stress rod minimum, psi</i>
S_A	<i>Allowable stress (tegangan maksimum yang diizinkan), psi</i>
T	<i>Nilai minimum tensile strength, psi</i>
SF	<i>Service Factor</i>
Ar	<i>Luas penampang sucker rod, in</i>
Ci	<i>Counterbalance Ideal, lb</i>
PT	<i>Peak torque, lb-in</i>
TF_{max}	<i>Maximum Torque Factor</i>
er	Konstanta elastisitas batang upaman, inch/lb-ft
et	Konstanta elastisitas <i>tubing</i> , inch/lb-ft
At	<i>Luas penampang dinding tubing, sq.in</i>
ep	<i>Plunger overtravel, in</i>
et	<i>Tubing stretch, in</i>
er	<i>Rod stretch, in</i>
D	Kedalaman <i>working level</i> fluida, ft
E	<i>Mouulus Young</i> besi, 30×10^6 , psi
SP	Panjang efektif langkah pompa, in
$PRHP$	Daya batang upaman, hp
Tr	Minimum <i>tensile strength SR</i> (Grade C = 90.000 psi)
HHP	<i>Hydraulic horse power, hp</i>
L_n	<i>Net Lift</i> atau <i>Working Level</i> , ft
H_f	<i>Friction horse power, hp</i>
BHP	<i>Brake horse power, hp</i>
K	Konstanta pompa

ANALISIS TEKANAN HIDRAULIK PADA SUMUR-SUMUR YANG MENGGUNAKAN *ARTIFICIAL LIFT HYDRAULIC PUMPING UNIT* (HPU) DI LAPANGAN Y

**IRZULANANDA
133210409**

ABSTRAK

HPU (*hydraulic pumping unit*) merupakan salah satu *artificial lift* yang digunakan untuk memproduksikan fluida dari dalam sumur menggunakan sistem hidraulik yang berada di atas permukaan (*surface equipment*). Di permukaan sistem hidraulik ini bekerja dengan adanya oli yang ada di dalam *tank oil*, dan *power pack* sebagai sumber tenaga pendorong ke piston di dalam *cylinder jack* sehingga menjadi gerakan naik turun untuk mengangkat *sucker rod* dibawah permukaan yang terhubung langsung dengan *plunger*.

Perhitungan volumetris pompa bertujuan untuk mengetahui performa pompa yang terpasang pada masing-masing sumur dilapangan, Perhitungan *hydraulic pressure* bertujuan untuk mengetahui berapa tenaga yang digunakan pompa HPU yang terpasang pada masing-masing sumur dilapangan Y

Besar kecilnya nilai *hydraulic pressure* dipengaruhi oleh *total load* atau beban didalam sumur, beban disini adalah beban *sucker rod* dan beban fluida, setiap sumur memiliki jumlah *sucker rod*, ukuran *sucker rod*, ukuran *plunger* dan kedalaman pompa yang berbeda, sehingga menyebabkan pembebahan pada setiap sumur juga berbeda.

Semakin besar *total load* maka semakin besar *hydraulic pressure*, karena tenaga yang dibutuhkan oleh pompa HPU juga semakin besar.

Kata Kunci: *Artificial Lift, Hydraulic Pressure, Hidraulic Pumping Unit, Total Load.*

ANALYSIS OF HYDRAULIC PRESSURE IN WELLS USING ARTIFICIAL LIFT HYDRAULIC PUMPING UNIT (HPU) IN THE FIELD

**IRZULANANDA
133210409**

ABSTRACT

HPU (hydraulic pumping unit) is an artificial elevator that is used to produce fluid from the well using a hydraulic system that is above the surface (surface equipment). On the surface of this hydraulic system works with the oil in the oil tank, and the power pack as a source of driving force to the piston in the cylinder jack so that it becomes an up and down movement to lift the sucker rod under the surface that is connected directly to the plunger.

The volumetric calculation of the pump aims to determine the performance of the pump installed in each well in the field, the calculation of hydraulic pressure aims to find out how much energy is used by HPU pumps installed in each well in the field Y.

The size of the hydraulic pressure is influenced by the total load or load in the well, the load here is the load of the sucker rod and the fluid load, each well has a number of sucker rods, the size of the sucker rod, the size of the plunger and different pump depths, thus causing loading to each well as well different. The greater the total load, the greater the hydraulic pressure, because the power needed by the HPU pump is also greater.

Keywords:Artificial Lift, Hydraulic Pressure, Hydraulic pumping Unit, Total load

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Metode pengangkatan buatan (*artificial lift*) merupakan metode untuk pengangkatan minyak kepermukaan dengan menggunakan pompa. *Artificial lift* mempunyai banyak jenis. Salah satu jenisnya yaitu *insert pump* dengan mekanisme *Hydraulic Pumping Unit* (HPU), cara kerja pompa ini menggunakan sistem hidrolik yang mana tenaga yang diberikan oleh *power pack* disalurkan ke piston pada *cylinder jack* untuk mengangkat beban yang ada di dalam sumur. Beban yang diangkat pada pompa HPU yaitu beban *rod* dan beban fluida. Dengan melihat parameter pada *hydraulic pressure* kita dapat mengetahui berapa beban yang diangkat pada pompa HPU, (Ghareep,2012).

Pada umumnya masalah yang terjadi di dalam memproduksikan fluida pada pompa yaitu kelebihan produksi, pompa dapat mengangkat fluida sesuai kapasitasnya. Produksi yang melebihi kapasitas pompa (*over load*) membuat pompa tidak sanggup mengangkat fluida dan dapat menyebabkan pompa mati. Kemudian produksi yang tidak memenuhi kapasitas pompa dapat merusak pompa karena ketika pompa sedang bekerja dan kurangnya fluida yang masuk dalam pompa (*under load*) sehingga membuat pompa panas dan merusak peralatan pompa, (Babbista,2010).

Devon Energy telah memfokuskan upayanya pada penggunaan *hydraulic pumping unit* (HPU), yang telah mencatat rekam jejak yang luar biasa dalam mengembalikan produksi sumur tingkat rendah yang tidak lagi menanggapi *plunger*. Devon menggunakan HPU untuk memasok sumur Texas Timur di *reservoir* yang bervariasi dari tekanan *bottomhole* sangat rendah dengan permeabilitas tinggi hingga tekanan lebih tinggi dengan permeabilitas sangat rendah atau salah satu diantaranya.

Untuk menggambarkan efisiensi *pumping unit* dalam mengembalikan produksi dari sumur dengan laju fluida yang lebih rendah. Dilakukan penerapan program restorasi produksi pada sumur Texas Timur menggunakan teknologi

HPU menunjukkan hasil yang mengesankan dalam meningkatkan laju alir fluida dimana pemuatan fluida telah menjadi masalah yang utama (Beard,2013)

Berdasarkan uraian metode *artificial lift hydraulic pumping unit* memiliki peran yang sangat signifikan dalam mempermudah pengangkatan fluida. Oleh karena itu, penulis ingin menganalisis *hydraulic pressure* pada sumur-sumur yang menggunakan pompa HPU. Tingginya kenaikan *hydraulic pressure* yang melebihi standar operasi dapat menyebabkan *pump stuck* pada pompa HPU. Oleh karena itu akan dianalisis pengaruh *total load* terhadap kenaikan *hydraulic pressure* pada pompa HPU. Hal ini perlu dianalisis agar permasalahan yang ada di dalam sumur dapat diketahui kemudian dapat ditanggulangi dengan cepat dan tepat.

1.2 TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis kinerja HPU terpasang dan besarnya nilai *hydraulic pressure* yang dibutuhkan berdasarkan total *load* pada sumur X Lapangan Y.
2. Mengetahui pengaruh total *load* terhadap kenaikan *hydraulic pressure* pada sumur X Lapangan Y.

1.3 MANFAAT PENELITIAN

Manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kinerja HPU yang terpasang sehingga dapat diketahui pengaruh yang disebabkan oleh besarnya nilai *total load* dan Sumur-sumur yang mengalami *stuck* dapat diketahui dengan melihat parameter *hydraulic pressure* pada pompa HPU. Tingginya kenaikan *hydraulic pressure* yang melebihi standar operasi dapat menyebabkan *pump stuck* pada pompa HPU.

1.4 BATASAN MASALAH

Agar penulisan tugas akhir ini lebih terarah dan tidak menyimpang dari tujuan yang dimaksud diatas, maka penulis memberikan batasan batasan dalam masalah yang akan dibahas selanjutnya, disini penulis memberikan batasan masalah tentang Tugas Akhir untuk menganalisis Tekanan Hidraulik pada sumur yang menggunakan *hydraulic pumping unit* (HPU) pada sumur X Lapangan Y.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Allah subhanahu wata'ala telah menciptakan manusia dengan berbagai kelengkapan sumber daya alam yang dibutuhkan manusia. Selain sumber daya alam yang dapat diperbaharui, Sang Pencipta juga mencukupi kebutuhan manusia dengan sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui. Sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui misalnya barang tambang dan mineral, termasuk minyak bumi dan gas. Sifat sumber daya minyak dan gas adalah dapat habis dan punah jika dieksplorasi terus menerus. Al-Qur'an sebagai sumber hukum Islam, secara tegas telah mengatur ketentuan tentang kepemilikan dalam Islam. Kepemilikan (*property*) hakikatnya adalah milik Allah secara absolut. Allah subhanahu wata'ala berfirman dalam Qs. al-Maidah (5):7 yang artinya kepunyaan Allah kerajaan langit dan bumi serta apa saja yang ada di antara keduanya (Rahma 2014). Oleh karena itu pemanfaatannya harus bijaksana dan memperhatikan aspek yang mendukung lingkungan. Pemakaian minyak bumi tersebut membutuhkan proses teknik untuk dapat memproduksinya. Dalam hal ini proses produksi tersebut memiliki masalah seperti adanya emulsi. Untuk meminimalisasi masalah terkait dengan emulsi minyak dan masalah lingkungan, teknisi atau lembaga terkait perlu mencegah pembentukan emulsi dengan memecahkan emulsi

2.1. PENELITIAN SEBELUMNYA

(Bogdan-Ioan Hodor, dkk, 2012) mengatakan penggantian unit pompa *konvensional* dengan unit pompa hidrolik telah dipertimbangkan karena serangkaian keuntungan meskipun memiliki dimensi kecil namun kapasitas angkat yang baik, dan yang paling penting memungkinkan optimalisasi kontrol minyak bumi. Perangkat unit terdiri dari dua bagian yang sangat penting, yaitu pompa hidrolik dan unit kontrol. seluruh kontrol dicapai oleh panel perintah sederhana yang memungkinkan pengoperasian unit hidrolik dan tampilan parameter.

(Kermit E. Brown 1982) Tujuan dari setiap sistem pengangkatan artifisial adalah untuk menciptakan tekanan *intake tubing* yang telah ditentukan sehingga tekanan intake tubing yang telah ditentukan sebelumnya sehingga reservoir dapat merespon dan menghasilkan laju aliran yang objektif.

(P Sukarno, 2001) Mengatakan bahwa sejalan dengan bertambahnya waktu produksi, setiap *reservoir* akan mengalami penurunan tekanan. Hal ini akan mengakibatkan terjadinya perubahan sifat fisik fluida maupun batuan *reservoir*, diantaranya seperti viskositas, faktor volume formasi dan jumlah kelarutan gas di dalam minyak. Disamping itu, penurunan tekanan *reservoir* dan peningkatan produksi kumulatif mengakibatkan meningkatnya nilai saturasi air sehingga berpengaruh terhadap harga permeabilitas *relative* minyak. Dengan adanya perubahan tersebut maka akan terjadi pula perubahan kinerja aliran fluida *reservoir* dari formasi produktif menuju ke lubang sumur sehingga kinerja produksi dari suatu sumur secara keseluruhan juga akan berubah. Perubahan yang terjadi dalam kelakuan produksi ini dapat diramalkan dengan membuat kurva IPR masa datang.

(A Musnal, 2015) Menjelaskan bahwa kemampuan suatu sumur untuk berproduksi dapat diketahui dengan melakukan perhitungan produktifitas sumur dengan kurva IPR berdasarkan data aktual di lapangan. Hasil evaluasi efisiensi volumetrik (Ev) pompa terpasang dari 10 sumur kajian, terdapat 7 sumur mempunyai $EV < 30\%$ dan 3 sumur mempunyai $EV < 55\%$. Berdasarkan hasil perhitungan laju alir maksimum kemampuan dari masing-masing sumur, didapatkan kenaikan laju produksi yang signifikan dengan perhitungan perubahan kecepatan dan panjang langkah pompa.

(S Kumar, KH Guppy, GV Chilingarian - Developments in Petroleum, 1987) untuk memprediksi kemampuan mengalir ini, penting bahwa hubungan antara laju aliran dan tekanan dijelaskan secara akurat. Tekanan yang biasanya digunakan adalah tekanan bottomhole yang mengalir dan tekanan reservoir rata-rata. Untuk setiap laju aliran yang diberikan, semakin kecil perbedaan antara tekanan-tekanan ini, semakin efisien kemampuan reservoir untuk menghasilkan cairan.

(Gilbert, 1954) Mengatakan optimalisasi produksi sumur minyak dan gas menggunakan model sumur terkomputerisasi telah berkontribusi pada peningkatan teknik penyelesaian, efisiensi yang lebih baik, dan produksi yang lebih tinggi dengan banyak sumur.

(Brown, Kermit E, 1975) Agar tekanan reservoir tidak cepat menurun secara drastis maka perlu dilakukan optimasi produksi. Selain itu terdapat masalah kepasiran. Pasir yang terproduksi bersama fluida formasi antara lain akan menyebab abrasi atau pengikisan di atas permukaan (termasuk endapannya) dan dapat menyebabkan penurunan laju produksi, bahkan dapat mematikan sumur. *Sand free flow rate* merupakan besarnya laju produksi kritis, dimana apabila sumur tersebut diproduksikan melebihi laju kritisnya, maka akan menimbulkan masalah kepasiran.

(Ghareep, 2012) Mengatakan bahwa masalah kepasiran ini umumnya terjadi pada formasi-formasi yang dangkal, masalah kepasiran terjadi akibat rusaknya kesetabilan dari ikatan butiran-butiran pasir, masalah pasir ini biasanya merusak pada pompa yang menggunakan sistem *plunger*, biasanya jenis umum masalah pasir adalah *plunger* menempel di pump *barrel*, kerusakan pada batang *plunger* dan katup, pasir menumpuk di pompa.

(Brown, K.E.1984) kecepatan pompa menimbulkan adanya percepatan pada pergerakan *plunger* sehingga terjadi pemanjangan dari *plunger* yang besarnya ditentukan oleh Marsh dan Coberly.

(Hassouna, 2013) Mengatakan sistem penggunaan *plunger* mempunyai 4 peran utama antara lain:

1. Dapat di gunakan untuk sumur yang memiliki kandungan gas.
2. Menstabilkan produksi pada sumur yang memiliki masalah beban produksi.
3. Mencegah / menangani masalah pertumbuhan parafin dan *scale* di dalam *tubing*.
4. Meningkatkan efisiensi pengangkatan pada sumur gas.

(Baptista, 2010) Pada umumnya masalah yang terjadi di dalam memproduksikan fluida pada pompa yaitu kelebihan produksi, pompa dapat

mengangkat fluida sesuai kapasitasnya. Produksi yang melebihi kapasitas pompa (*over load*) membuat pompa tidak sanggup mengangkat fluida dan dapat menyebabkan pompa mati. Kemudian produksi yang tidak memenuhi kapasitas pompa dapat merusak pompa karena ketika pompa sedang bekerja dan kurangnya fluida yang masuk dalam pompa (*under load*) sehingga membuat pompa panas dan merusak peralatan pompa.

Desain mekanis dari *rod* merupakan hal sangat sulit dikarenakan beban yang ditanggung pada *rod*. Beban yang akan terdapat selama proses pemompaan dapat dilihat seperti dibawah ini: (Takacs, 2015)

1. Berat *rod* di udara, berdasarkan panjang *rod* pada *string*
2. Gaya apung, berat *rod* dan pengaruh *rod* yang masuk ke dalam fluida.
3. Beban fluida, beban fluida dalam *plunger* yang bergerak dari bawah keatas (*upstroke*).
4. Beban dinamis, hasil perubahan percepatan dari pergerakan massa (*rod* dalam fluida).
5. Gaya gesek, gesekan fluida antara *rod* dan fluida produksi dan gaya gesek mekanis antara *rod* dan *tubing string*.

(Arini, 2014) Mengatakan total *load* pada pompa HPU didapatkan dari penjumlahan *load* *rod* dan *load* fluida. *Load rod* merupakan beban yang terdapat pada *rod*, nilainya berdasarkan jumlah *rod* yang digunakan pada pompa HPU, sedangkan *load* fluida nilainya berdasarkan volume *plunger* dan gradien fluida yang terdapat pada *plunger*, apabila nilai total load pada sumur melebihi kapasitas angkat dari pompa menyebabkan terjadinya kerusakan pada pompa sehingga pompa mati secara tiba-tiba.

(Ghareep, 2014) Mengatakan bahwasannya terjadinya suatu masalah pada pompa yang di akibatkan oleh matinya pompa secara tiba-tiba di sebabkan oleh beberapa faktor yang dominan sering terjadi seperti masalah beban di dalam sumur yang di sebabkan adanya beberapa faktor seperti beban loud *rod* dan loud fluida yang besar mengakibatkan daya angkat hidraulik bertambah besar sehingga tingkat terproduksinya pasir kedalam sumur juga semakin tinggi yang bisa menyebabkan fluida yang terproduksi semakin sedikit dan tingkat terjadinya kerusakan pompa semakin besar.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 JENIS DAN PENDEKATAN PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan menggunakan metode *field research* dengan pendekatan kualitatif di perusahaan PT. Artifisial Teknologi Persada. Data yang diperlukan yakni kedalaman pompa, kedalaman perforasi, *water cut*, *hydraulic pressure* aktual dan beberapa referensi atau literatur yang terkait pada penelitian ini. Setelah hasil didapat, dilakukan interpretasi data dan diskusi dengan pembimbing yang membawa pada kesimpulan yang merupakan tujuan dari penelitian ini.

3.1.1 JENIS DAN SUMBER DATA

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data primer dan sekunder yang diberikan oleh pembimbing lapangan, teori dari literatur yang sudah menyesuaikan



3.2 FLOWCHART PENELITIAN



Gambar 3.2 Diagram Penelitian

3.3 Komponen Utama Peralatan *Hydraulic Pumping Unit* (HPU)

Komponen utama peralatan *hydraulic pumping unit* (HPU) adalah *power pack*, *hydraulic jack* dan peralatan dibawah permukaan. Komponen tersebut terbagi lagi dari beberapa peralatan diantaranya sebagai berikut:

3.3.1 *Power Pack*

Power pack berfungsi untuk memompakan *hydraulic fluid* menuju ke *hydraulic jack*.

3.3.2 *Hydraulic Jack*

Hydraulic jack berfungsi untuk mentransmisikan *pressure* dari *hydraulic fluid* untuk mengangkat rangkaian *sucker rod*

3.3.3 Peralatan Pompa di Bawah Permukaan

Peralatan pompa *sucker rod* didalam sumur adalah untuk membantu menaikkan fluida sumur kepermukaan melalui *tubing*.

Tabel 2.1 Data *Tubing*

Tubing Size (Inch)	Outside Diameter (Inch)	Inside Diameter (Inch)	Luas Area (Inch ²)
1.900	1.9	1.61	2.03
2 3/8	2.375	1.995	3.12
2 7/8	2.875	2.441	4.68
3 1/2	3.500	2.992	7.03
4	4	3.476	9.48
4 1/2	4.5	3.958	12.30

Sumber :(Brown, K.E 1984)

Kecepatan pompa menimbulkan adanya percepatan pada pergerakan *plunger* sehingga terjadi pemanjangan dari *plunger* yang besarnya ditentukan oleh Marsh dan Coberly sebagai berikut (Brown, K.E.1984) :

$$Ep = \frac{40.8 \times L^2 \times \alpha}{F} \dots \dots \dots (1)$$

Harga α ini didapat dari persamaan (Brown, K.E.1984):

Akibat adanya perpanjangan dari *rod* dan *tubing* serta adanya *plunger over travel*, maka panjang *polished rod stroke* di permukaan akan sama dengan panjang pergerakan *plunger* dalam pompa. Besarnya didapat dengan persamaan (Brown, K.E.1984):

$$Sp = S + e_p - (e_t + e_r) \quad \dots \quad (3)$$

Harga Sp ini menentukan besarnya *pump displacement* disamping harga-harga N dan konstanta pompa berdasarkan diameter *plunger* pada Tabel 2.3.

Tabel 2.2 Data Plunger Pompa

Diameter (inch)	Luas, Ap (Inch ²)	Konstanta Pompa (bbl/inch/spm)
1	0.785	0.117
1 1/6	0.88	0.132
1 1/4	1.227	0.182
1 1/2	1.767	0.262
1 3/4	2.405	0.357
2	3.142	0.466
2 1/4	3.976	0.590
2 1/2	4.909	0.728
2 3/4	5.940	0.881
3 3/4	11.045	1.640
4 3/4	17.721	2.630

Sumber: (Brown, K.E 1984)

Pada saat *upstroke traveling valve* akan tertutup dan beban ditanggung sepenuhnya oleh *rod*, sehingga mengakibatkan perpanjangan (*elongation*) pada *rod string* yang besarnya didapat dari persamaan berikut (Brown, K.E.1984) :

$$e_r = \frac{5.2 \times A_p \times SG_f \times WFL \times L}{E \times Ar} \quad \dots \dots \dots \quad (4)$$

Sedang ketika terjadi *downstroke traveling valve* akan membuka, sedangkan *standing valve* menutup dan pemindahan beban dari *rod* ke *tubing* menimbulkan perpanjangan *tubing*, sebesar :

Harga At untuk berbagai macam ukuran nominal *tubing* dapat diketahui dari tabel 2.2.

Tabel 2.3 Data Sucker Rod

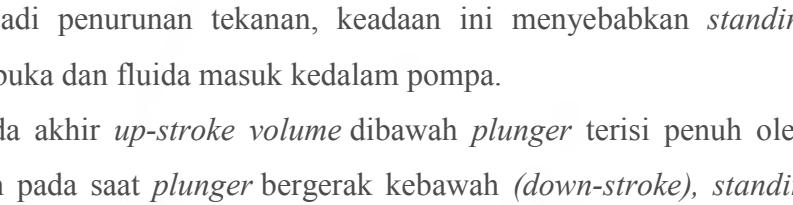
Ukuran (inch)	Luas (inch²)	Berat (lb/ft)
5/8	0,307	1,16
¾	0,447	1,63
7/8	0,601	2,16
1	0,785	2,88
1/8	0,994	2,64

Sumber : (Brown, K.E 1984)

3.3.4 Prinsip Kerja *Hydraulic Pumping Unit* (HPU)

Prinsip kerja *Hydraulic Pumping Unit (HPU)* adalah sebagai berikut:

1. *Hydraulic fluid* bertekanan tinggi dari *power pack* dipompakan menuju ke *hydraulic jack*
 2. Dari gerakan *hydraulic* tadi kemudian diteruskan oleh *polished rod* terus ke *sucker rod* dan ke *plunger*, sehingga *plunger* bergerak turun naik yang merupakan gerakan langkah dari pompa.

- 
 3. Apabila *plunger* bergerak keatas (*up-stroke*) maka dibawah *plunger* akan terjadi penurunan tekanan, keadaan ini menyebabkan *standing valve* terbuka dan fluida masuk kedalam pompa.
 4. Pada akhir *up-stroke* volume dibawah *plunger* terisi penuh oleh cairan dan pada saat *plunger* bergerak kebawah (*down-stroke*), *standing valve* akan tertutup karena *plunger* meneka fluida pada saat bersamaan fluida tersebut akan menekan *traveling valve*, fluida keluar dari *plunger* dan masuk ke *tubing*.
 5. Proses tersebut berlangsung berulang kali, sehingga fluida pada *tubing* akan bergerak naik kepermukaan dan mengalir menuju *separator* melalui *flow line*.

3.3.5 Perhitungan Efisiensi Volumetris *Hydraulic Pumping Unit (HPU)*

Secara garis besar prosedur perhitungan dalam evaluasi efisiensi volumetris pompa *sucker rod* adalah sebagai berikut:

Langkah Perhitungan:

1. Menghitung *specific gravity* (*SG*) fluida dan gradien fluida (GF)

$$GF \equiv SG_{\text{fluid}} \times 0.433 \quad (20)$$

- ## 2. Menghitung luas *plunger* (A_p)

$$\Delta p = 0.25 \times \pi \times (dp)^2 / \text{in}^2 \quad (21)$$

- ### 3 Menghitung luas top rod (A_r)

$$Ar \equiv 0.25 \times \pi \times (dr)^2 \cdot ip^2 \quad (22)$$

- #### 4 Menghitung luas *tubing* (*At*)

$$\Delta t = 0.25 \times \pi \times (dt)^2 \text{ in}^2 \quad (23)$$

- ## 5 Menghitung faktor percepatan (a)

$$\alpha = \frac{S \times N^2}{\text{edges}} \dots \quad (24)$$

- ## 6 Menghitung plunger over travel (en)

- ## 7 Menghitung perpanjangan tubing (*et*) dan *Rod String* (*er*)

8. Menghitung efektif *plunger stroke* (*Sp*)
 $Sp = S + ep - (et + er)$, in (28)

9. Menghitung konstanta pompa (K)
 $K = 0,1484 \times Ap$ (29)

10. *Pump Displacement* (*V*)
 $V = K \times Sp \times N$, BPD (30)

11. Mengitung efisiensi volumetris pompa (Ev)

$$Ev = \frac{Qt}{V} x 100 \% \quad \dots \quad (31)$$

3.3.6 Penentuan Total *Load* dan *Hydraulic Pressure* pada Pompa HPU

. Persamaan yang digunakan untuk menghitung total *load* dapat dilihat di bawah berikut (Arini, 2014):

- ### 1. Menentukan *Load rod* (Wr)

$$Wr = M \times L \dots \quad (6)$$

Keterangan

Wr : Load Rod (lb)

M : Berat Rod (lb/Ft)

L : Panjang Rod (Ft)

- ## 2. Menentukan *Load* Fluida (Wf)

Keterangan

Wf : Load Fluida (lb)

0.433 : Konstanta (Psi/Ft)

SG : *Specific Gravity Fluid*

L : Kedalaman Pompa (Ft)

Ap : Luas Plunger (Inch²)

0 294 · Konstanta (Inch^3/lb)

Wr : Berat Rod (lb)

- ### 5. Menghitung Total Biaya

Total Load = $W_1 + W_2$ (8)

Keterangan

Wr : Berat Rod (lb)

Wf : Load Fluida (lb)

4. Menentukan Luas *Cylinder*

Keterangan

3.14 : Phi

ID : *Inside Diameter (Inch)*

5. Menentukan Luas Rod (Inch^2)

Keterangan

3.14 : Phi

OD : Outside Diameter (Inch)

6. Menentukan *Cylinder Factor* (Inch^2)

7. Hydraulic Pressure (Psi)

$$\text{Hydraulic Pressure} = \frac{\text{Total Load}}{\text{Cylinder Factor}} \quad \dots \quad (12)$$

3.4 Lokasi Lapangan

Lapangan Tarakan adalah salah satu lapangan yang di kelola oleh PT Pertamina EP Asset 5 tarakan. terletak di Provinsi Kalimantan timur, cekungan Tarakan dapat dibagi menjadi 4 sub-cekungan yaitu sub cekungan tidung sub cekungan berau, sub cekungan Tarakan dan sub cekungan muara (biantaro dkk, 1996, ibs, 2006).

Pada siklus sedimentasi pliosen, diendapkan formasi Tarakan, formasi ini terdiri dari *interbeding* batu lempung, serpih, batu pasir dan lapisan-lapisan batu bata lignit, yang menunjukkan fasies pengendapan *delta plain*. Dasar dari formasi Tarakan beberapa diinterpretasikan oleh ketidakselarasan.

3.4.1 ASPEK GEOLOGI LAPANGAN

Lapangan yang dioperasikan dan produksi di PT. Pertamina EP Asset 5 Tarakan Kalimantan Utara memiliki lapisan sedimen-sedimen berumur tua, meliputi formasi danau (Heriyanto dkk., 1991) atau disebut juga formasi Damiu (IBS, 2006).

3.5 JADWAL PENELITIAN



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN PENELITIAN

HPU (*hydraulic pumping unit*) merupakan salah satu *artificial lift* yang digunakan untuk memproduksikan fluida dari dalam sumur menggunakan sistem hidrolik yang berada di atas permukaan (*surface equipment*). Di permukaan sistem hidrolik ini bekerja dengan adanya oli yang ada di dalam *tank oil*, dan *power pack* sebagai sumber tenaga pendorong ke piston di dalam *cylinder jack* sehingga menjadi gerakan naik turun untuk mengangkat *sucker rod* dibawah permukaan yang terhubung langsung dengan *plunger*.

Pada Lapangan Y ini ada 10 sumur yang akan dilakukan analisis *hydraulic pressure* pada pompa HPU, yaitu sumur X#005, X#014, X#035, X#043, X#046, X#050, X#056, X#063, X#065, X#072, Sebelum menganalisis *hydraulic pressure* akan dilakukan perhitungan laju produksi masing-masing sumur untuk melihat performa pompa HPU di lapangan Y. Untuk lebih lanjut dapat dilihat sebagai dibawah berikut :

4.1 HASIL PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN EFISIENSI VOLUMETRIS POMPA HPU PADA SUMUR-SUMUR DI LAPANGAN Y

Perhitungan volumetris pompa bertujuan untuk mengetahui performa pompa yang terpasang pada 10 sumur dilapangan Y

Tabel 4.1 Hasil perhitungan laju produksi dan efisiensi pompa untuk 10 sumur.

Sumur	(α)	(ep)	(et)	(er)	(Sp)	(K)	V (Bpd)	EV (%)
X #005	0,042	0,06	0,09	0,6	67,59	0,87	370	67
X #014	0,051	0,04	0,07	0,4	77,67	0,78	235	77
X #035	0,059	0,03	0,06	0,3	84,32	0,64	590	81
X #043	0,062	0,02	0,06	0,2	89,79	0,59	370	89
X #046	0,073	0,04	0,07	0,5	59,87	0,63	171	70

X #050	0,054	0,05	0,07	0,6	64,47	0,68	171	56
X #056	0,063	0,06	0,08	0,7	68,87	0,57	171	32
X #063	0,043	0,07	0,09	0,8	78,69	0,48	472	60
X #065	0,042	0,06	0,09	0,6	67,59	0,87	214	67
X #072	0,032	0,05	0,08	0,4	58,51	0,43	85	51

Berdasarkan hasil perhitungan efisiensi volumetris pompa pada 10 sumur di lapangan Y. Memiliki performa yang berbeda dikarnakan adanya perbedaan nilai parameter pada setiap sumur di lapangan Y.

4.2 HASIL PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN PADA HYDRAULIC PRESSURE DI SUMUR X LAPANGAN Y

Perhitungan *hydraulic pressure* bertujuan untuk mengetahui berapa tenaga yang digunakan pompa HPU yang terpasang pada masing-masing sumur dilapangan Y.

Tabel 4.2 Hasil Perhitungan *Hydraulic Pressure* 10 Sumur-Sumur X

Sumur	pump setting (ft)	Jumlah Rod (jts)	Berat Rod (pound)	Beban Fluida (lb)	Total Load (lb)	Hydraulic Pressure (psi)
X #005	600	22	1601	804	2405	677
X #014	450	16	1164	607	1772	499
X #035	653	23	1674	883	2557	720
X #043	502	18	1310	671	1981	558
X #046	532	19	1382	357	1740	490
X #050	620	23	1674	409	2083	586
X #056	680	23	1674	479	2154	606
X #063	671	24	1337	955	2293	645
X #065	555	20	1114	406	1521	428

X #072	463	17	1237	302	1539	433
--------	-----	----	------	-----	------	-----

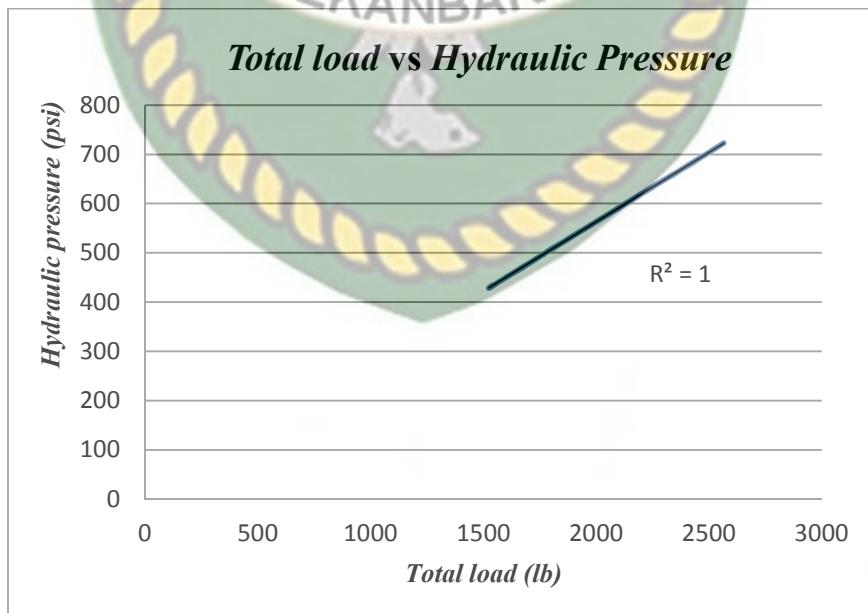
Dari hasil perhitungan *hydraulic pressure* pada 10 sumur dapat di lihat bahwa pada setiap sumur memiliki nilai total load yang berbeda, sehingga tekanan *hydraulic pressure* yang di butuhkan juga berbeda agar pompa HPU dapat mengangkat beban total load di didalam sumur sepanjang kedalaman pompa.

4.3 PENGARUH TOTAL LOAD TERHADAP HYDRAULIC PRESSURE

Besar kecilnya nilai *hydraulic pressure* dipengaruhi oleh total *load* atau beban didalam sumur, beban disini adalah beban *sucker rod* dan beban fluida, setiap sumur memiliki jumlah *sucker rod*, ukuran *sucker rod*, ukuran *plunger* dan kedalaman pompa yang berbeda, sehingga menyebabkan pembebahan pada setiap sumur juga berbeda. Untuk perhitungan total *load* dan *hydraulic pressure* pada masing-masing sumur dapat dilihat pada tabel 4.2.

Berdasarkan tabel Semakin besar total *load* maka semakin besar *hydraulic pressure*, karena tenaga yang dibutuhkan oleh pompa HPU juga semakin besar, dapat dilihat pada grafik dibawah ini *hydraulic pressure* berbanding lurus dengan total *load*. lurus dengan total *load*.

Gambar 4.1 Total *load* vs *Hydraulic pressure*

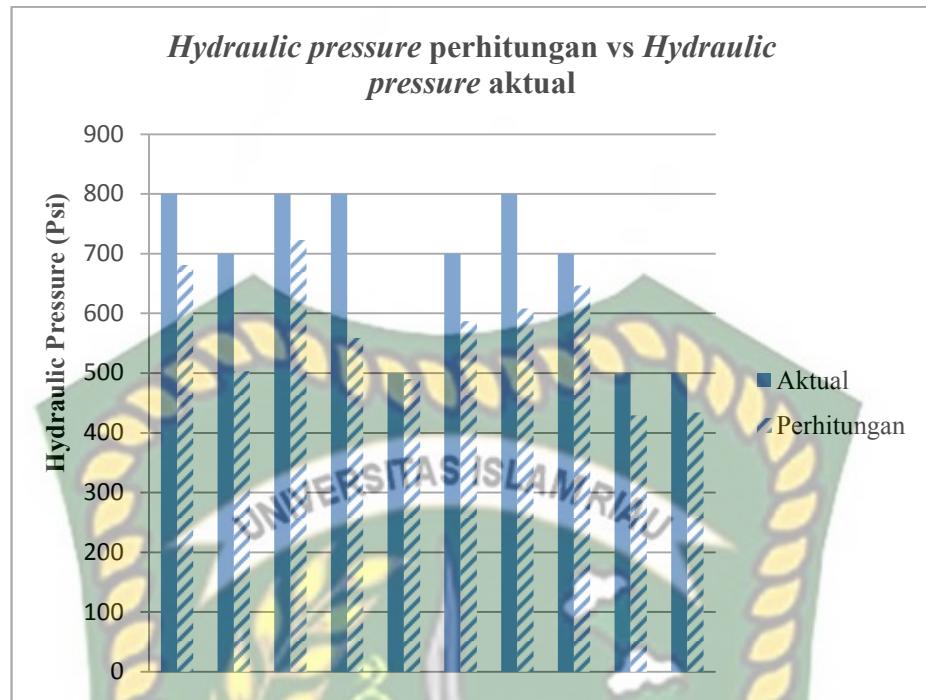


Berdasarkan gambar 4.2 hubungan total load terhadap *hydraulic pressure* dari masing-masing sumur berbanding lurus sempurna dengan nilai $R^2 = 1$.

Tabel 4.7 Perbandingan *Hydraulic Pressure* Hasil Perhitungan dengan Aktual pada Lapangan X

Sumur	<i>Hydraulic Pressure</i> Perhitungan (Psi)	<i>Hydraulic Pressure</i> Aktual (Psi)
X #005	677	800
X #014	499	700
X #035	720	800
X #043	558	800
X #046	490	500
X #050	586	700
X #056	606	800
X #063	645	700
X #065	428	500
X #072	433	500

Gambar 4.2 Grafik Perbandingan *Hydraulic Pressure* Perhitungan dengan *Hydraulic Pressure* Aktual



Berdasarkan perbandingan *hydraulic pressure* perhitungan dan *hydraulic pressure* aktual, nilai *hydraulic pressure* perhitungan selalu lebih rendah dibandingkan dengan aktual, hal ini dikarenakan nilai *hydraulic pressure* perhitungan dipengaruhi oleh nilai total *load* yang meliputi berat *rod* dan berat fluida, sedangkan *hydraulic pressure* aktual dipengaruhi oleh beberapa faktor mekanis lainnya seperti kandungan pasir yang terdapat pada *pump*, gaya gesekan yang disebarluaskan oleh *rod* dan gaya gesek yang disebabkan oleh pasir.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Berdasarkan pengolahan data yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan, sebagai berikut:

1. Berdasarkan perhitungan total load nilai *hydraulic pressure* yang dibutuhkan untuk sumur X#005 = 677 psi, X#014 = 499 psi, X#035 = 720 psi, X#043 = 558 psi, X#046 = 490 psi X#050 = 586 psi X#056 = 606 psi X#056 = 645 psi X#063 = 428 psi X#065 = 433 psi.
2. Total load dapat meningkatkan nilai *hydraulic pressure*, semakin tinggi total load maka semakin tinggi nilai *hydraulic pressure*.

5.2 SARAN

Dari penelitian yang dilakukan analisis *hydraulic pressure* terhadap total load peneliti menyarankan untuk penelitian selanjutnya melakukan analisis Pengaruh *Sand content* dan *Friction*, terhadap kenaikan *Hydraulic Pressure*.

DAFTAR PUSTAKA

- Allah subhanahu wata'ala berfirman dalam Qs. al-Maidah (5):7. (Rahma 2014).
- Babbit, (2012) kelebihan pompa HPU.
- Brown, K.E..(1977). *The Technologi of Artificial Lift Methods, Vol 1.* Tulsa, Oklahoma: PennWell Publ. Co.
- Brown, K.E.(1991). *The Technologi of Artificial Lift Methods, Vol. 4.* Tulsa, Oklahoma: PennWell Publ. Co.
- Brown, K. E, (1982) Tujuan dari setiap sistem pengangkatan artifisial
- Brown, K.E (1984) Data Tubing dan data plunger pompa.
- Cadena T, J.R., Schiozer, Simple Procedure to Develop Analytical Curves of IPR from Reservoir Simulators with Application in Production Optimization,” Paper SPE 36139
- Dunn, J., dan Lake, L.W. (Ed). (2007).*Production Operation Engineering*, Vol. 4. Texas: SPE Publishing.
- Ghareep, (2012), *Design of Sucker Rod Pumping Systems for Effectively Handling Solids and Sand SPE International Production and Operations Conference & Exhibition, 14-16 May, Doha, Qatar.*
- Ghareep, (2014) *SPE International Production and Operations Conference & Exhibition, Doha, Qatar.*
- Gilbert, (1954)_(*N.V.De Bataafsche Petroleum Maatschappj*)_Drilling and Production Practice, 1 January, New York.
- Gilbert, W.A., (1954). *An Oil Well Pump Dynagraph.* Shell Oil Co.
- Halliburton (2013). *High Science Simplified, Dynamic Surveillance System.* Huston, Amerika.
- Hassouna, (2013), *Plunger Lift Applications Challenges and Economics*
- Musnal, Ali. (2015) Optimasi Perhitungan Laju Alir minyak Dengan Meningkatkan Kinerja Pompa Hydraulic Pada Sumur Minyak Di Lapangan PT. KSO Pertamina Sarolangon Jambi.
- Permadi, A.K. (Ed). (2004). Diktat Teknik Reservoir 1 (Edisi Pertama). Bandung.

- Pertamina, (2003). *Inflow Performance Relationship* (IPR)
- Raharjo, A.D.U. (2016). Evaluasi Perhitungan Potensi Sumur Minyak Tua Dengan *Water Cut* Tinggi. Paper presented at the 2016 Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains dan Teknologi (SNAST), Yogyakarta.
- Sukarno, P.: "Inflow Performance Relation-ships Curve in Two and Three Phase Flow Conditions," PhD Dissertation, The University of Tulsa, OK (1986).
- Sukarno, P (2001) Inflow Performance Relation-ships Curve in Two and Three Phase Flow Conditions, *PHD Dissertation, The University of Tulsa,*
- S. Kumar, KH Guppy, GV Chilingarian – *Developments in Petroleum, (1987) Surface Operation in Petroleum Production.*
- Takacs, (2015). Desain mekanis dari rod
- Well File. (2017). Artificial Lift dan Data Pedada Area PT. Bumi Siak Pusako Indonesia, (tidak di publikasikan).
- Wiggins, M.L.: "Inflow Performance of Oil Wells Producing Water," PhD Dissertation, Texas A&M University, College Station, Texas, TX (1991) 126-139.
- Wiggins, M.L., Russel, J.E., and Jennings, J.W.: "Analytical Development of Vogel Type Inflow Performance Relationships," paper SPE 23580