

**EVALUASI DAN OPTIMISASI SUMUR ELECTRICAL
SUBMERSIBLE PUMP YANG MEMILIKI PI TINGGI
DENGAN MENGGUNAKAN VARIABLE SPEED DRIVE
DENGAN FREKUENSI DIATAS 60HZ PADA SUMUR "X"
LAPANGAN "Y"**

TUGAS AKHIR

Diajukan guna melengkapi syarat dalam mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh:

**DEDEK JULIANTO
143210108**



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

2020

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas akhir ini disusun oleh :

Nama : Dedek Julianto
NPM : 143210108
Program Studi : Teknik Perminyakan
Judul Skripsi : Evaluasi Dan Optimisasi Sumur Electrical Submersible Pump Yang Memiliki PI Tinggi Dengan Menggunakan Variable Speed Drive Dengan Frekuensi Diatas 60 Hz Pada Sumur "X" Lapangan "Y"

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 : Richa Melysa, ST., MT (.....)
Penguji I : Hj. Fitrianti, ST., MT (.....)
Penguji II : M. Ariyon, ST., MT (.....)

Ditetapkan di : Pekanbaru

Tanggal : 31 Maret 2020

Disahkan Oleh:

**DEKAN
FAKULTAS TEKNIK**

Dr. ENG.MUSLIM. MT

**SEKRETARIS PROGRAM STUDI
TEKNIK PERMINYAKAN**

NOVRIANTI. ST.. MT

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

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

Pekanbaru, Maret 2020



DEDEK JULIANTO
NPM 143210108

KATA PENGANTAR

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

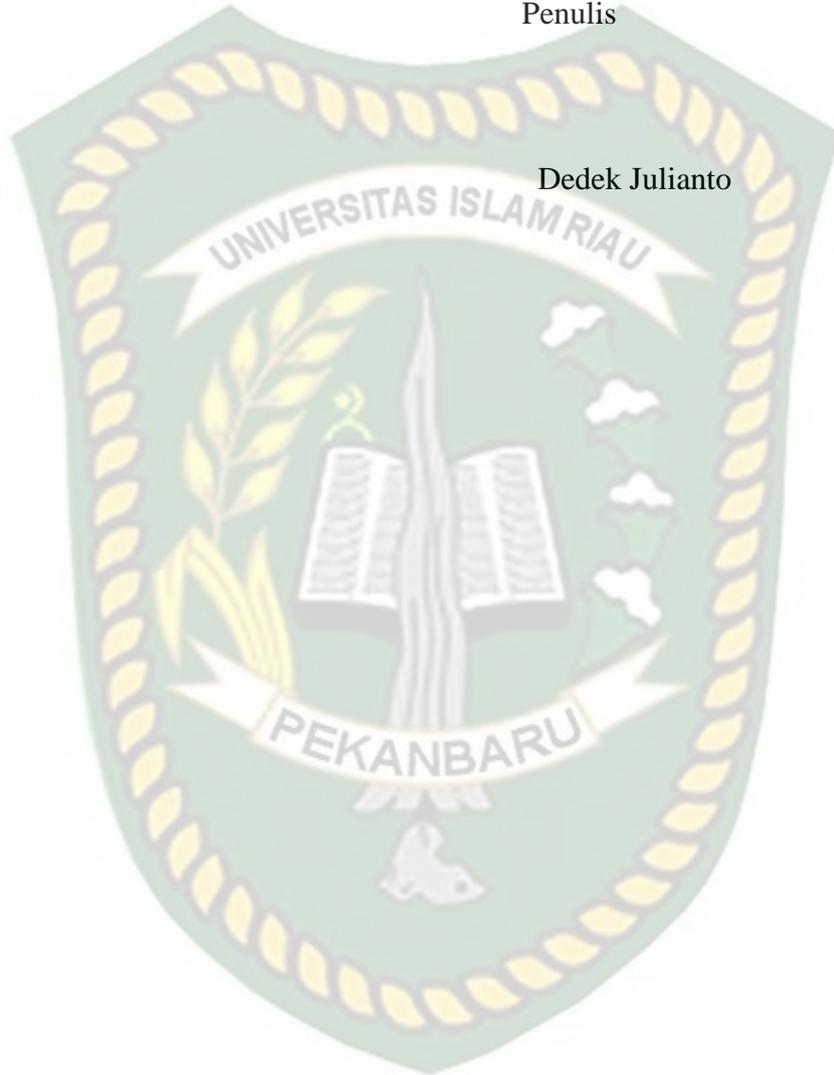
1. Ibu Richa Melysa, ST. MT selaku dosen pembimbing, yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk memberikan masukan dalam penyusunan tugas akhir ini.
2. PT. Chevron Pasific Indonesia yang telah memberikan kesempatan untuk pengambilan data dan menyediakan tempat untuk pelaksanaan penelitian tugas akhir ini.
3. Mas Sayid Habibi Alkahfi, ST dan Bang Ichwan Junaidi, ST selaku pembimbing lapangan, yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk memberikan masukan dan motivasi dalam penyusunan tugas akhir ini.
4. Ketua program studi bapak Dr. Eng. Muslim, MT dan sekretaris program studi ibu Novrianti, ST. MT serta dosen-dosen yang sangat banyak membantu terkait perkuliahan, ilmu pengetahuan dan hal lain yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu.
5. Bapak M Ariyon, ST. MT selaku Pembimbing Akademik yang telah memberikan arahan, nasihat, penyemangat selama menjalani perkuliahan di Teknik Perminyakan Universitas Islam Riau.
6. Orang tua dan keluarga yang memberikan dukungan penuh material maupun moral.
7. Sahabat saya angkatan 2014 yang telah memberikan segala bentuk dukungan selama masa perkuliahan.

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

Pekanbaru, Januari 2020

Penulis

Dedek Julianto



Dokumen ini adalah Arsip Miik :
Perpustakaan Universitas Islam Riau

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR LAMPIRAN	x
DAFTAR SINGKATAN	xi
DAFTAR SIMBOL	xii
ABSTRAK	xiii
ABSTRACT	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	15
1.1 LATAR BELAKANG.....	15
1.2 TUJUAN PENELITIAN.....	16
1.3 MANFAAT PENELITIAN.....	16
1.4 BATASAN MASALAH.....	17
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	18
2.1 ELECTRIC SUBMERSIBLE PUMP (ESP).....	18
2.2 VARIABLE SPEED DRIVE.....	23
2.3 DASAR PERHITUNGAN ESP.....	24
2.4 PRODUKTIVITAS FORMASI.....	31
2.5 INDEX PRODUKTIVITAS (PI).....	32
2.6 INFLOW PERFORMANCE RELATIONSHIP (IPR).....	33
2.7 SIMULATOR AUTOGRAPHPC.....	33
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	35
3.1 METODOLOGI PENELITIAN.....	35
3.2 METODE ANALISA DATA.....	36
3.3 KONSEP OPERASIONAL.....	36
3.4 FLOW CHART.....	36
3.5 STUDI LAPANGAN.....	37
3.6 TEMPAT PELAKSANAAN PENELITIAN.....	43
3.7 WAKTU PELAKSANAAN PENELITIAN.....	43
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	44
4.1 DATA SUMUR X LAPANGAN Y.....	44
4.2 EVALUASI ESP TERPASANG.....	45

4.3	PENENTUAN PRODUKTIVITAS FORMASI.....	49
4.4	OPTIMASI ESP TERPASANG.....	51
4.5	OPTIMASI DENGAN SOFTWARE AUTOGRAPHPC.....	57
4.6	PERBANDINGAN HASIL OPTIMASI.....	58
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		59
5.1	KESIMPULAN.....	59
5.2	SARAN.....	59
DAFTAR PUSTAKA.....		60
LAMPIRAN.....		61

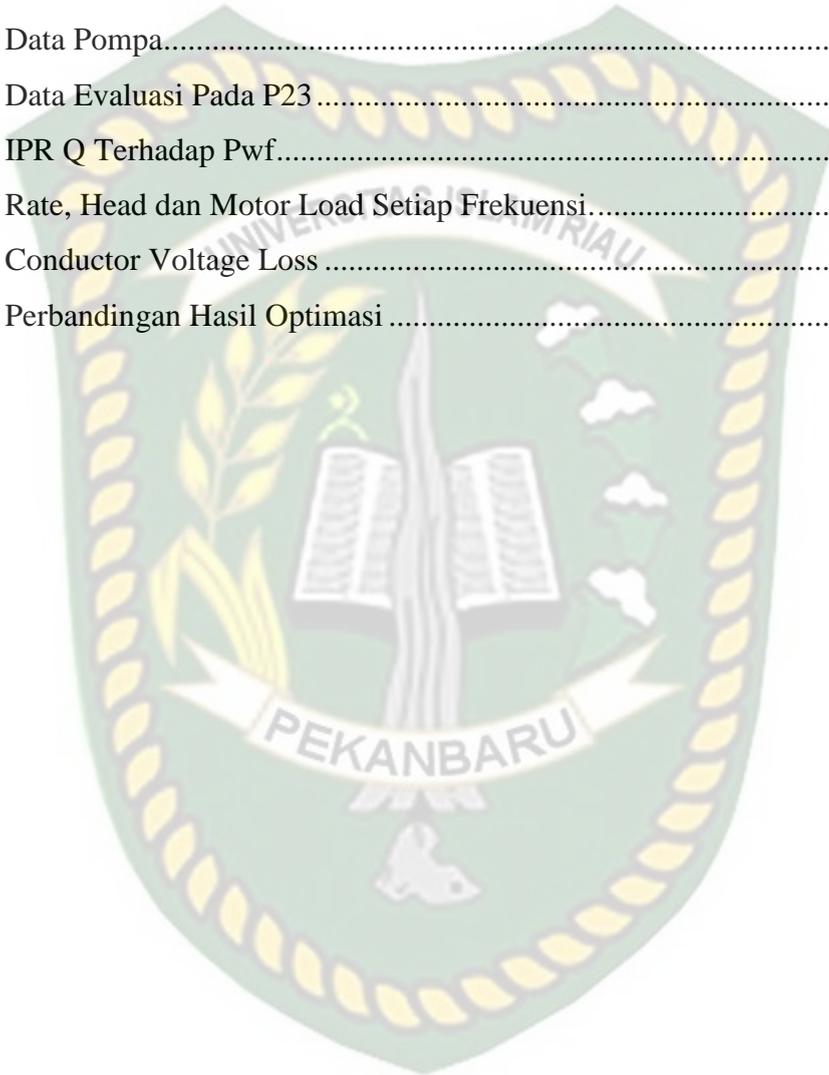


DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Instalasi Electric Submersible Pump	12
Gambar 2.2	Skema Impeller dan Diffuser.....	12
Gambar 2.3	Kurva Kelakuan Pompa Benam Listrik.....	18
Gambar 2.4	Berbagai Posisi Pompa Pada Kedalaman Sumur	21
Gambar 2.5	Kurva IPR	26
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	30
Gambar 3.2	Cekungan Sumatra Tengah	34
Gambar 4.1	Evaluasi Pump Performance Curve P23	41
Gambar 4.2	Kurva IPR P23	44
Gambar 4.3	Pump Performance Curve P23 Head dan Motor Load	45
Gambar 4.4	Horsepower vs Total Dynamic Head	47
Gambar 4.5	Cable Voltage Drop.....	49

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Jadwal Pelaksanaan Penelitian Tugas Akhir	36
Tabel 4.1	Data Reservoir.	37
Tabel 4.2	Data Sumur	37
Tabel 4.3	Data Produksi	38
Tabel 4.4	Data Pompa.....	38
Tabel 4.5	Data Evaluasi Pada P23	41
Tabel 4.6	IPR Q Terhadap Pwf.....	44
Tabel 4.7	Rate, Head dan Motor Load Setiap Frekuensi.....	46
Tabel 4.8	Conductor Voltage Loss	49
Tabel 4.9	Perbandingan Hasil Optimasi	51



DAFTAR LAMPIRAN

- LAMPIRAN I** Tabel Sensitivity Menggunakan Perhitungan Manual.
LAMPIRAN II Tabel Sensitivity Menggunakan *Software* AutographPC.
LAMPIRAN III Input Data dan Pengolahan Data Pada *Software* AutographPC.



DAFTAR SINGKATAN

BPD	Barels Per Day
ESP	Electric Sumbersible Pump
GOR	Gas Oil Ratio
IPR	Inflow Performance Relationship
NPHS	Net Positive Suction Head
Pb	Bubbel Point Pressure
PI	Productivity Index
PIP	Pump Intake Pressure
PSD	Pump Setting Depth
PSDmax	Pump Setting Depth Maksimum
PSDmin	Pump Setting Depth Minimum
Pwf	Well Flowing Pressure
SFL	Static Fluid Level
TDH	Total Dynamic Head
VF	Volume Factor
VSD	Variable Speed Drive
WC	Water Cut
WFL	Working Fluid Level



DAFTAR SIMBOL

D	Kedalaman sumur
d(P)	Perubahan tekanan yang dihasilkan pompa
d(St)	Perubahan jumlah stage
Gf	Gradient fluida sumur
Gf(V)	Gradien tekanan fluida
h	Head per stage
HD	Vertical lift
Hf	Tubing friction lost
Hs	Suction head
HT	Tubing head
L	Panjang kabel
P	Tekanan permukaan cairan
Pc	Tekanan di casing
PIP	Pump Intake Pressure
Ps	Tekanan statik
Pwf	Tekanan alir dasar sumur
q	Rate produksi
SFL	Statik fluid level
TDH	Total dynamic head
Vc	Correction voltage
Vm	Motor voltage
Vs	Surface voltage
W	Berat material
WFL	Working fluid level
ρ	Densitas fluida
ρ_{fsc}	Berat 1 bbl cairan yang ditambah gas yang terpompa

EVALUASI DAN OPTIMISASI SUMUR ELECTRICAL SUBMERSIBLE PUMP YANG MEMILIKI PI TINGGI DENGAN MENGUNAKAN VARIABLE SPEED DRIVE DENGAN FREKUENSI DIATAS 60HZ PADA SUMUR "X" LAPANGAN "Y"

DEDEK JULIANTO

143210108

ABSTRAK

Kondisi suatu sumur jika diproduksi terus-menerus akan mengakibatkan tekanan *reservoir* turun, dan laju alir akan turun pula, akibatnya produktivitas sumur akan turun juga. Untuk itu perlu adanya tenaga yang dapat membantu mengangkat fluida sampai kepermukaan. Dalam metode primer terdapat 2 tahapan produksi yaitu natural flow dimana minyak terangkat kepermukaan langsung melalui tubing, dan artificial lift merupakan metode perolehan minyak dengan menggunakan bantuan alat tambahan. Dalam dunia perminyakan ada berbagai macam jenis pengangkatan buatan salah satunya adalah *electric submersible pump* (ESP).

Electric Submersible Pump merupakan pompa listrik yang ditenamkan ke dalam cairan. Pompa ini dibuat atas dasar pompa sentrifugal bertingkat banyak dimana setiap tingkat mempunyai impeller dan diffuser yang bertujuan untuk mendorong fluida ke permukaan. Perencanaan ESP sangat dipengaruhi oleh produktivitas sumur produksi. Laju produksi fluida berpengaruh terhadap pemilihan jenis dan ukuran pompa. Hal ini dikarenakan tiap-tiap pompa memiliki laju produksi sendiri berdasarkan jenis dan ukuran tiap-tiap pompa yang dipakai.

Dalam kegiatan memproduksi minyak tentu suatu saat akan terjadi permasalahan yang mengakibatkan menurunnya produksi, Oleh karena itu perlu dilaksanakan evaluasi dan desain ulang pompa ESP, sebagai upaya untuk mengoptimalkan potensi produksi sumur-sumur tersebut. Pada penelitian ini akan dilakukan evaluasi kinerja *electrical submersible pump* dan melakukan *desain* ulang pompa untuk optimasi produksi dengan menggunakan *software AutographPC* pada sumur lapangan PT Chevron Pacific Indonesia (CPI), wilayah Minas.

Kata kunci: *electric submersible pump, AutographPC, laju produksi*

**EVALUASI DAN OPTIMISASI SUMUR ELECTRICAL
SUBMERSIBLE PUMP YANG MEMILIKI PI TINGGI
DENGAN MENGGUNAKAN VARIABLE SPEED DRIVE
DENGAN FREKUENSI DIATAS 60HZ PADA SUMUR "X"
LAPANGAN "Y"**

DEDEK JULIANTO
143210108

ABSTRACT

The condition of a well if it is produced continuously will cause reservoir pressure to fall, and the flow rate will also go down, as a result the productivity of the well will also decrease. For this reason, there is a need for energy that can help lift fluid up to the surface. In the primary method there are 2 stages of production, namely natural flow where oil is raised directly through the tubing surface, and artificial lift is the method of obtaining oil by using the aid of additional tools. In the oil industry there are various types of artificial lifts, one of which is an electric submersible pump (ESP).

Electric Submersible Pump is an electric pump that is immersed into a liquid. This pump is made on the basis of a multilevel centrifugal pump where each level has an impeller and diffuser which aims to push the fluid to the surface. ESP planning is strongly influenced by the productivity of production wells. The rate of fluid production influences the selection of pump type and size. This is because each pump has its own production rate based on the type and size of each pump used.

In the course of producing oil, there will certainly be a problem that will cause a decline in production, therefore it is necessary to evaluate and redesign the ESP pump, in an effort to optimize the production potential of these wells. In this study an evaluation of the performance of the electrical submersible pump will be carried out and a pump redesigned to optimize production using AutographPC software on the well in the field of PT Chevron Pacific Indonesia (CPI), Minas.

Keywords: *electric submersible pump, AutographPC, production rate*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam memproduksi minyak dari suatu sumur dapat dilakukan dengan dua cara yaitu, dengan Metode Sembur Alam dan Metode Pengangkatan Buatan (Artificial Lift). Metode Pengangkatan Buatan (Artificial lift) digunakan apabila tekanan reservoir sudah tidak mampu lagi untuk memproduksi secara sembur alam. Salah satu metode pengangkatan buatan (Artificial Lift) adalah *Electric Submersible Pump* (ESP). (Jayanti, Rachmat, & Sulustiyanto, 2015)

Pemilihan ESP sebagai salah satu teknik pengangkatan buatan tentu saja berdasarkan pertimbangan teknis maupun ekonomis. ESP adalah pompa sentrifugal yang digerakkan oleh tenaga listrik yang terdiri dari beberapa stage (tingkatan), dimana setiap stage memiliki satu diffuser dan impeller yang dipasangkan pada suatu shaft. (Rizky Maulana, 2015)

Perencanaan ESP sangat dipengaruhi oleh produktivitas sumur dan sifat fluida yang dipengaruhi oleh kelakuan reservoir dari sumur tersebut (tekanan reservoir, GOR, dan water cut). Laju produksi fluida berpengaruh terhadap pemilihan jenis dan ukuran pompa. Hal ini dikarenakan tiap-tiap pompa memiliki laju produksi sendiri berdasarkan jenis dan ukuran tiap-tiap pompa yang dipakai. Namun seiring berjalannya waktu, memproduksi minyak pada lapangan tidak terlepas dengan adanya penurunan tekanan reservoir sehingga terjadinya penurunan rate produksi, penurunan working fluid level terhadap setting depth pompa, dan juga dapat menyebabkan adanya penurunan efisiensi volumetris pompa. (Satya Wicaksana, 2011)

Telah banyak dilakukan penelitian dan pengembangan dalam penggunaan ESP, salah satu pengembangan yang telah dilakukan adalah dalam penggunaan Variable Speed Drive (VSD). VSD dapat mengubah kecepatan rotasi motor dengan mengubah frekuensi AC power sebelum dikirim ke dalam peralatan ESP dibawah permukaan. Penggunaan VSD memungkinkan kita untuk mengubah putaran pompa sehingga laju alur fluida dapat berubah-ubah.

Pada penelitian ini, penulis akan mengevaluasi pompa terpasang dan mengoptimasi dengan analisa menggunakan Variable Speed Drive (VSD). Karena motor pompa submersible adalah sebuah induction motor, kecepatannya sangat proporsional dengan power supply listrik. Dengan mengatur frekuensi pada Variable Speed Drive, dapat mengoperasikan lebih luas kisaran dari kapasitas, head dan efisiensi sehingga dapat menentukan harga laju produksi optimum yang diinginkan. Sehingga laju produksi yang diinginkan tetap dapat dicapai tanpa harus melakukan pengerjaan penggantian pompa yang memerlukan waktu pengerjaan yang lebih lama dan biaya yang lebih besar. Kemudian mengevaluasi peralatan pendukung, seperti: Protector, kebutuhan HP, volt dan ampere motor, pemilihan kabel listrik, KVA Transformer dan Variable Speed Drive (VSD) yang dibutuhkan.

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun Tujuan dari pelaksanaan penelitian Tugas Akhir ini adalah :

1. Mengevaluasi penggunaan pompa ESP yang saat ini terpasang pada sumur kajian, Sehingga dapat diketahui apakah kapasitas pompa yang terpasang sudah sesuai dengan laju alir yang dihasilkan dan produktifitas formasi sumur tersebut.
2. Melakukan optimasi dengan menggunakan Variable Speed Drive (VSD) dengan frekuensi diatas 60 Hz sebagai alternative untuk meningkatkan performance sumur tanpa harus melakukan penggantian pompa.
3. Melakukan perbandingan hasil desain ESP antara software AutographPC dan perhitungan manual yang dilakukan.

1.3 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini yaitu dapat melaksanakan evaluasi dan melakukan optimasi pompa ESP dengan metode peningkatan frekuensi menggunakan Variable Speed Drive dengan mengatur frekuensi diatas 60 Hz untuk sumur kadidat sizeup, sehingga laju produksi yang diharapkan dapat tercapai tanpa harus melaksanakan pekerjaan penggantian

pompa yang memerlukan biaya lebih besar dan waktu pengerjaan yang lebih lama.

1.4 Batasan Masalah

Agar penelitian ini tidak keluar dari tujuan yang diharapkan peneliti hanya membahas tentang penggunaan pompa ESP yang tidak sesuai kapasitasnya terhadap laju alir yang dihasilkan sehingga perlu dilakukan optimasi pada pompa dengan cara menaikkan frekuensi diatas 60 Hz menggunakan Variable Speed Drive.



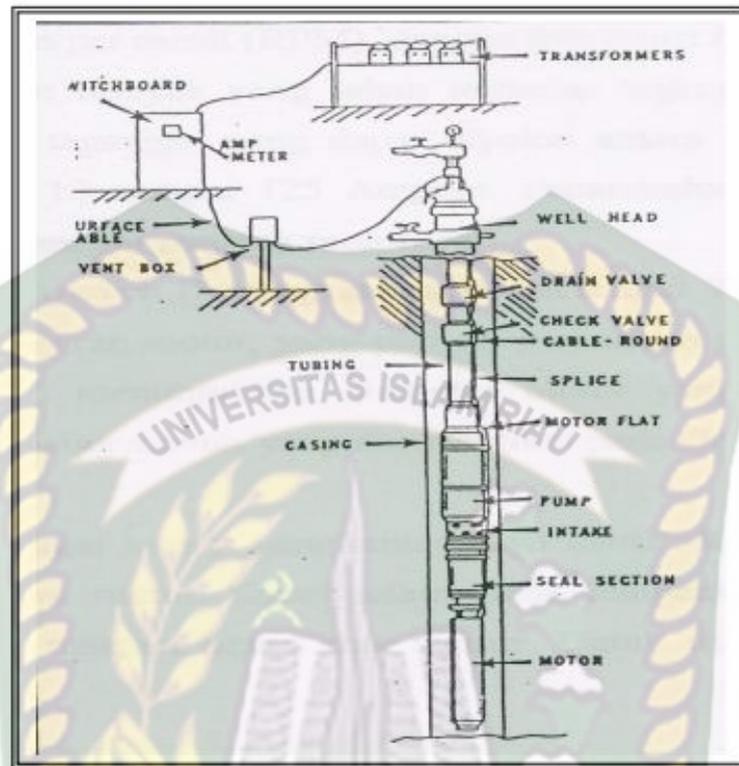
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

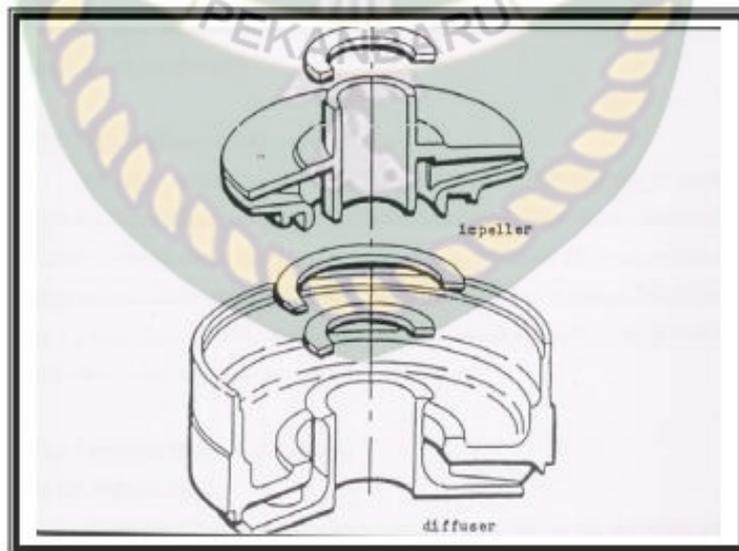
Sumber daya alam adalah segala sesuatu yang diciptakan Allah SWT di Bumi yang dapat dimanfaatkan oleh manusia untuk kebutuhan hidupnya tercukupi dan sejahtera. Sumber daya alam yang terdapat dimana saja seperti di tanah, air, udara dan sebagainya. Sebagaimana yang telah di jelaskan oleh Allah SWT dalam firman-Nya Q.S AL-An'am(6) : 1-3, maka sudah sepantasnya kita bersyukur atas apa yang telah Allah SWT ciptakan yang semata-mata adalah untuk kita manfaatkan, Karena Allah SWT telah berjanji barang siapa yang mensyukuri nikmatnya maka akan di tambah tapi apabila kufur maka akan mendapat siksa yang amat pedih. Untuk itu sebagai bentuk syukur manusia kepada Allah SWT.manusia harus memelihara alam yang telah memberikan kehidupan kepada manusia karena hakikatnya semua yang ada di bumi hanyalah milik Allah SWT.

2.1 ELECTRIC SUBMERSIBLE PUMP (ESP)

Menurut buku dari (Kermit E. Brown, 1980), Pompa benam listrik dibuat atas dasar pompa sentrifugal bertingkat banyak dimana keseluruhan pompa dan motornya ditenggelamkan ke dalam cairan. Pompa ini digerakkan dengan motor listrik dibawah permukaan melalui suatu poros motor (shaft) yang memutar pompa, dan akan memutar sudut-sudut (impeller) pompa. Perputaran sudut-sudut itu menimbulkan gaya sentrifugal yang digunakan untuk mendorong fluida ke permukaan. Gambar 2.1 dan Gambar 2.2 pada halaman selanjutnya menunjukkan instalasi ESP dan skema difusser-impeller pada pompa ESP.



Gambar 2.1 Instalasi Electric Submersible Pump (Kermit E. Brown, 1980)



Gambar 2.2 Skema Impeller dan Diffuser (Kermit E. Brown, 1980)

2.1.1 Peralatan Electric Submersible Pump (ESP)

Menurut buku dari (Kermit E. Brown, 1980), peralatan ESP dibagi menjadi 2 bagian, yaitu bagian permukaan dan bawah permukaan. Dimana komponen masing-masing peralatannya sebagai berikut :

A. Peralatan Permukaan (*Surface Equipment*)

1. *Wellhead*
2. *Junction Box*
3. *Switchboard / Motor Controller*
4. *Transformer*

B. Peralatan dibawah Permukaan (*Subsurface Equipment*)

1. *Pompa*
2. *Intake* (Gas separator)
3. *Protector*
4. *Motor*

2.1.2 Karakteristik Kinerja Electrical Submersible Pump (Esp)

Motor Listrik berputar pada kecepatan relatif konstan, memutar pompa (impeller) melewati poros (shaft) yang disambungkan dengan bagian protector. Power disalurkan ke peralatan bawah permukaan melalui kabel listrik konduktor yang di lem pada tubing, cairan memasuki pompa yang sedang beroperasi. Kelakuan pompa berada pada harga efisiensi tertinggi apabila hanya cairan yang terproduksi. Tingginya volume gas bebas menyebabkan operasi pompa tidak efisien. (Kermit E. Brown, 1980)

2.1.2.1 Kurva Kelakuan Electrical Submersible Pump (Pump Performance Curve)

Menurut buku dari (Kermit E. Brown, 1980) beberapa kinerja dari berbagai pompa dihadirkan dalam bentuk katalog yang diterbitkan oleh produsen. Kurva kinerja dari suatu pompa benam listrik menampilkan hubungan antara : Head capacity, Rate Capacity, Horse Power dan efisiensi pompa yang disebut dengan “Pump Performance Curve”. Kapasitas rate berkaitan dengan volume, laju

alir cairan yang diproduksi, termasuk juga gas bebas atau gas yang terlarut dalam minyak.

Head pompa benam listrik berkaitan dengan specific gravity fluida, dimana jika head diubah menjadi tekanan maka harus dikalikan dengan specific gravity fluida, maka dapat dinyatakan sebagai berikut :

Tek. Operasi Pompa = (head / stage) x (gradien tekanan fluida) x (jumlah stage)

Bila gas dan cairan sedang dipompa, kapasitas dan head per stage juga gradien tekanan fluida berubah sebagaimana tekanan fluida naik dari tekanan intake ke tekanan discharge. Dengan demikian persamaan diatas dapat ditulis sebagai berikut:

$$d(P) = h(V) + Gf(V) + d(St) \dots\dots\dots(2-1)$$

Dimana :

d(P) = Perubahan tekanan yang dihasilkan pompa

h = head per stage, ft/stage

Gf(V) = gradien tekanan fluida, psi/ft

d(St) = perubahan jumlah stage

Tanda kurung dalam Persamaan (2-1) merupakan fungsi dari kapasitas (V) dan dinyatakan dlm persamaan : $V = qsc \times VF$ (aliran satu fasa). VF merupakan Volume Factor untuk berbagai tekanan dan temperatur, dan dinyatakan dengan persamaan :

$$VF = WC + (1-WC) Bo + [GLR - (1-WC) Rs] Bg \dots\dots\dots(2-2)$$

Tekanan alir dasar sumur (Pwf) diatas harga tekanan gelembung (bubble Point-Pb) bentuk kurva IPR digambarkan dalam persamaan linier :

$$qsc = PI (Pr - Pwf) \dots\dots\dots(2-3)$$

Gradien tekanan fluida dalam berbagai tekanan dan temperatur dinyatakan dalam persamaan :

$$Gf(V) = 0,433 \times \rho (V) \dots\dots\dots(2-4)$$

$$\rho (V) = W / 350 \dots\dots\dots(2-5)$$

W adalah berat material pada berbagai tekanan dan temperatur, yang mana sama dengan berat pada kondisi standart. Dituliskan dengan persamaan :

$$\rho(V) = \frac{V.qsc.fsc}{350.\rho} \dots\dots\dots(2-6)$$

Mensubtitusikan Persamaan (2-4) kedalam Persamaan (2-6) didapatkan persamaan sebagai berikut :

$$Gf = \left(\frac{0,433}{350}\right) \frac{qsc \times \rho_{fsc}}{V} \dots\dots\dots(2-7)$$

ρ_{fsc} adalah berat 1 bbl cairan yang ditambah gas yang terpompa (per bbl cairan) pada kondisi standart.

$$\rho_{fsc} = (350(WC)T_{WSC}) + [350 (1- WC) T_{OSC}] + (GIP)(GLR) \rho_{gsc} \dots\dots\dots(2-8)$$

Dengan memasukkan Persamaan (2-7) ke Persamaan (2-4) menghasilkan persamaan :

$$d(S_t) = \left(\frac{350}{0,433 \times qsc \times \rho_{fsc}}\right) \frac{V}{h(V)} dP \dots\dots\dots(2-9)$$

Jumlah stage total dari pompa didapat dengan mengintegrasikan persamaan diatas antara tekanan intake (P3) dan tekanan discharge (P2):

$$\int_{p1}^{p2} d S(t) = \left(\frac{350}{0,433 \times qsc \times \rho_{fsc}}\right) \int_{p3}^{p2} \frac{V}{h(V)} dP \dots\dots\dots(2-10)$$

Atau

$$S(t) = \left(\frac{808.3141}{qsc \times \rho_{fsc}}\right) \int_{p3}^{p2} \frac{V}{h(V)} dP \dots\dots\dots(2-11)$$

2.1.2.2 Kurva Intake Pompa

Peramalan kurva intake pompa Electrical Submersible Pump dipertimbangkan untuk dua hal yaitu :

- Memompa cairan
- Memompa cairan dan gas

Keduanya diasumsikan bahwa pompa diletakkan didasar sumur dan yang tetap adalah tekanan wellhead dan ukuran tubing. Kasus kedua dianggap semua gas dipompakan bersama-sama cairan. Variabel yang terpengaruh adalah jumlah stages pompa. Peramalan kurva intake untuk pompa benam listrik adalah untuk kasus yang kedua. (Kermit E. Brown, 1980)

2.2 Variable Speed Drive

Sistem Electric Submersible Pump bisa dimodifikasi dengan memasukan frekuensi Variable Speed Drive (VSD) sehingga bisa mengoperasikan lebih luas kisaran dari kapasitas, head dan efisiensi. Karena motor pompa submersible adalah sebuah induction motor, kecepatannya sangat proporsional dengan power supply listrik. Dengan menyesuaikan frekuensi, sistem VSD menawarkan potensi lebih untuk menaikkan produksi dan mendatangkan untung. VSD bisa menaikkan efisiensi dalam banyak kasus, termasuk sumur dengan viskositas yang tinggi, sumur dengan waterflood, dan lain-lain. VSD bisa memperluas kisaran dari pengangkatan buatan ESP kurang dari 100 BPD sampai dengan 100.000 BPD. (Haryo Widyatmoko, 2018)

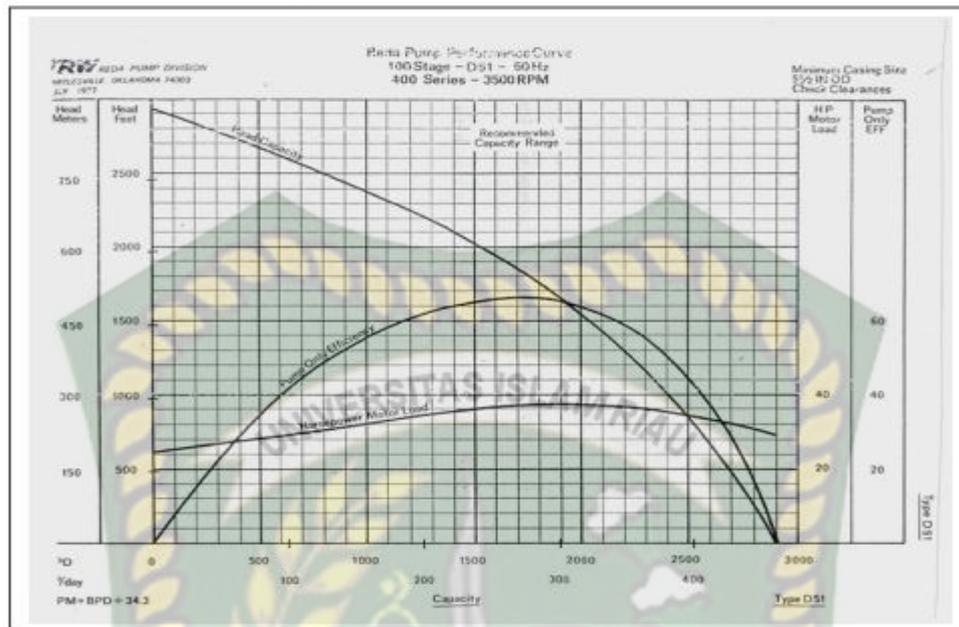
Penentuan besarnya frekuensi output dari VSD yang nantinya merupakan frekuensi putaran pompa dapat ditentukan melalui beberapa jenis pengontrol (control mode), yaitu:

1. Speed Mode, yaitu pengaturan berdasarkan speed sebagai harga tetapan. Misal dengan Speed Mode pada 52 Hz, berarti motor akan tetap pada putaran 52 Hz.

2. Current Mode, yaitu pengaturan berdasarkan running ampere sebagai harga tetapan. Misal dengan Current Mode pada 40 Amp, berarti VSD akan mengatur putaran (frekuensi) untuk menyesuaikan running ampere (40 Amp).
3. Pressure Mode, yaitu pengaturan berdasarkan tekanan bawah permukaan (Pressure Intake Pump) sebagai harga tetapan. Misal Pressure Mode pada 1000 psi, berarti VSD akan mengatur putaran untuk menyesuaikan tekanan 1000 psi. (Haryo Widyatmoko, 2018)

2.3 DASAR PERHITUNGAN *ELECTRICAL SUBMERSIBLE PUMP*

Menurut buku dari (Kermit E. Brown, 1980) pada prinsipnya perencanaan atau desain suatu unit pompa benam listrik untuk sumur-sumur dengan WC tinggi adalah sama seperti perencanaan unit pompa benam listrik biasa, dimana dengan maksimalnya laju produksi yang diinginkan maka maksimal juga produksi air yang terproduksi. Kontrolnya dengan menghitung laju kritis dimana besarnya laju produksi minyak yang diinginkan lebih besar dari laju kritis sehingga terjadi water coning. Produksi tersebut terus dilakukan karena masih bernilai ekonomis dan terjadinya water coning bersifat wajar untuk sumur-sumur tua yang mempunyai water cut yang lebih besar dari 90%. **Gambar 2.3.** di bawah ini menunjukkan Kurva Kelakuan Pompa Benam Listrik.



Gambar 2.3 Kurva Kelakuan Pompa Benam Listrik (Kermit E. Brown, 1980)

2.3.1 Perkiraan Laju Produksi Maksimum

Laju produksi suatu sumur yang diinginkan harus sesuai dengan produktifitas sumur. Pada umumnya fluida yang mengalir dari formasi ke lubang sumur lebih dari satu fasa. Untuk aliran fluida dua fasa, Vogel membuat grafik kinerja aliran fluida dari formasi ke lubang sumur berdasarkan data uji produksi. Sedangkan untuk aliran tiga fasa, yaitu gas, minyak dan air, maka dalam pengembangan kelakuan aliran tiga fasa dari formasi ke lubang sumur dapat menggunakan analisis regresi dari metode Pudjo Sukarno. (Kermit E. Brown, 1980)

2.3.2 Pemilihan Ukuran Dan Tipe Pompa

Pada umumnya pemilihan tipe pompa didasarkan pada besarnya rate produksi yang diharapkan pada rate pengangkatan yang sesuai dan ukuran casing (Check clearances). Terproduksinya gas bersama-sama dengan cairan memberikan pengaruh dalam pemilihan pompa, karena sifat kompresibilitas gas yang tinggi, menyebabkan perbedaan volume fluida yang cukup besar

antara intake pompa dan discharge pompa. Hal ini akan mempengaruhi efisiensi pompa ESP itu sendiri. (Kermit E. Brown, 1980)

2.3.3 Perkiraan Pump Setting Depth

Perkiraan pump setting depth merupakan suatu batasan umum untuk menentukan letak kedalaman pompa dalam suatu sumur adalah bahwa pompa harus ditenggelamkan didalam fluida sumur. Sebelum perhitungan perkiraan setting depth dilakukan, terlebih dahulu diketahui parameter yang menentukannya, yaitu Static Fluid Level (SFL) dan Working Fluid Level (WFL) dimana untuk menentukannya digunakan alat sonolog. (Kermit E. Brown, 1980)

2.3.4 Static Fluid Level

Static fluid level pada sumur dalam keadaan mati (tidak diproduksi), sehingga tidak ada aliran, maka tekanan didepan perforasi sama dengan tekanan statik sumur. Sehingga kedalaman permukaan fluida di annulus (SFL, ft) adalah :

$$SFL = D_{midperf} - \left(\frac{P_s}{G_f} + \frac{P_c}{G_f} \right) \dots\dots\dots(2-12)$$

(Kermit E. Brown, 1980)

2.3.5 Working Fluid Level

Bila sumur diproduksi dengan rate produksi sebesar q (bbl/D, dan tekanan alir dasar sumur adalah Pwf (Psi), maka ketinggian (kedalaman bila diukur dari permukaan) fluida di annulus adalah :

$$WFL = D_{midperf} - \left(\frac{P_{wf}}{G_f} \right) \dots\dots\dots(2-13)$$

Dimana :

SFL = Statik Fluid Level, ft

WFL = Working Fluid Level, ft

Ps = Tekanan Statik sumur, psi

Pwf = Tekanan Alir dasar sumur, psi.

q = Rate produksi, B/D

D = Kedalaman sumur, ft

P_c = Tekanan di casing, psi

G_f = Gradient Fluida sumur, psi/ft

(Kermit E. Brown, 1980)

2.3.6 Suction Head (Tinggi Hisap)

Suction head adalah silinder atau torak yang semula berada dipermukaan cairan (dalam bak) air akan naik mengikuti torak sampai pada mencapai ketinggian H_s , dimana :

$$H_s = \frac{144 \times P}{\rho} \dots\dots\dots(2-14)$$

Dimana:

H_s = suction head, ft

P = tekanan permukaan cairan, psi

ρ = densitas fluida, lb/cuft D.

(Kermit E. Brown, 1980)

2.3.7 Kavitasi Dan Net Positive Suction Head (Nphs)

Tekanan absolut pada cairan pada suatu titik didalam pompa berada dibawah tekanan saturasi (P_b) pada temperatur cairan, maka gas semula terlarut dalam cairan terbebaskan. Gelembung-gelembung gas ini akan mengalir bersamasama dengan cairan sampai pada daerah yang memiliki tekanan tinggi akan dicapai dimana gelembung tadi akan mengecil. Fenomena ini disebut sebagai kavitasi yang dapat menurunkan efisiensi dan merusak pompa. (Kermit E. Brown, 1980)

Kejadian ini berhubungan dengan kondisi penghisapan dan apabila kondisi penghisapan berada diatas P_b , maka kavitasi tidak terjadi. Kondisi minimum yang dikehendaki untuk mencegah kavitasi pada suatu pompa disebut Net Positive Suction Head (NPHS). NPHS adalah tekanan absolut diatas tekanan saturasi yang diperlukan untuk menggerakkan fluida masuk kedalam fluida. (Kermit E. Brown, 1980)

2.3.8 Pump Setting Depth Minimum

Pump setting depth minimum merupakan posisi minimum dalam waktu yang singkat akan terjadi pump-off, oleh karena ketinggian fluida level diatas pompa relatif sangat kecil atau pendek sehingga hanya gas yang akan dipompakan. Pada kondisi ini Pump Intake Pressure (PIP) akan menjadi kecil. PIP mencapai dibawah harga P_b , maka akan terjadi penurunan efisiensi volumetris dari pompa (disebabkan terbebasnya gas dari larutan). PSD minimum dapat ditulis dengan persamaan :

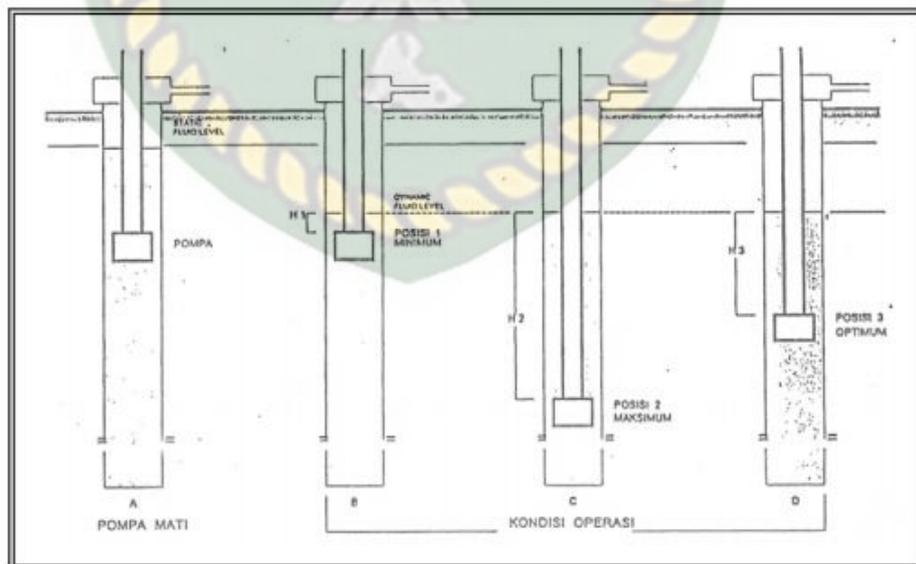
$$PSD_{min} = WFL + \frac{P_b}{G_f} + \frac{P}{G_f} \dots\dots\dots(2-15)$$

(Kermit E. Brown, 1980)

2.3.9 Pump Setting Depth Maksimum

Merupakan keadaan yang ditunjukkan oleh Gambar 2.4 C (Posisi maksimum) juga kedudukan yang kurang menguntungkan. Keadaan ini memungkinkan terjadinya overload, yaitu pengangkatan beban kolom fluida yang terlalu berat. PSD maksimum dapat didefinisikan :

$$PSD_{max} = D - \left(\frac{P_b}{G_f} - \frac{P_c}{G_f} \right) \dots\dots\dots(2-16)$$



Gambar 2.4 Berbagai Posisi Pompa Pada Kedalaman Sumur (Kermit E. Brown, 1980)

2.3.10 Pump Setting Depth Optimum

Merupakan kedudukan yang diharapkan dalam perencanaan pompa benam listrik seperti dalam Gambar 2.4 D (Pompa dalam keadaan optimum) menentukan kedalaman yang optimum tadi (agar tidak terjadi pump-off dan overload serta sesuai dengan kondisi rate yang dikehendaki), maka kapasitas pompa yang digunakan harus disesuaikan dengan produktivitas sumur. Penentuan PSD optimum ini dipengaruhi oleh terbuka dan tertutupnya casing head yang mana akan mempengaruhi tekanan casing atau tekanan yang bekerja pada permukaan dari fluida di annulus. Kejadian ini mempengaruhi besarnya suction head pompa Untuk casing head tertutup, maka :

$$\text{Kedalaman pompa optimum} = \text{WFL} + \frac{PIP - P_c}{Gf} \dots\dots\dots(2-17)$$

Untuk casing head terbuka, maka :

$$\text{Kedalaman pompa optimum} = \text{WFL} + \frac{PIP - P_{atm}}{Gf} \dots\dots\dots(2-18)$$

(Kermit E. Brown, 1980)

2.3.11 Perhitungan Total Dynamic Head (Tdh)

Untuk menghitung Total Dynamic Head fluida yang akan diangkat oleh pompa, maka kita menggunakan langkah seperti dibawah ini:

1. Penentuan Gradien Fluida

$$\text{Gradien Fluida (Gf)} = SG_{Fluid} \times 0.433 \dots\dots\dots (2-19)$$

2. Penentuan Pump Intake Pressure

$$\text{Perb Kedalaman} = \text{Mid. Perforasi} - \text{PSD} \dots\dots\dots (2-20)$$

$$\text{Perb Tekanan} = \text{Perb Kedalaman} \times Gf \dots\dots\dots (2-21)$$

$$\text{Pump Intake Pressure (PIP)} = P_{wf} - \text{Perbedaan Tekanan} \dots\dots (2-22)$$

3. Penentuan Vertical Lift (H_D)

$$\text{Fluid Over Pump} = \frac{PIP}{Gf} \dots\dots\dots (2-23)$$

$$\text{Vertical Lift (H}_D\text{)} = \text{Pump Setting Depth (PSD)} - \text{FOP} \dots\dots\dots (2-24)$$

4. Penentuan Tubing Friction Lost (H_f)

$$Friction\ Loss = \frac{2.0830 \times \left[\frac{100}{C}\right]^{1.85} \left[\frac{Qt}{34.3}\right]^{1.85}}{ID^{4.8655}} \dots\dots\dots (2-25)$$

$$Tubing\ Friction\ Loss\ (H_F) = Friction\ Loss \times PSD \dots\dots\dots (2-26)$$

5. Penentuan Tubing Head (H_T)

$$Tubing\ Head\ (H_T) = \frac{Tubing\ Pressure}{Gf} \dots\dots\dots (2-27)$$

6. Penentuan Total Dynamic Head (TDH)

$$TDH = H_D + H_F + H_T \dots\dots\dots (2-28)$$

(Kermit E. Brown, 1980)

2.3.12 Perkiraan Jumlah Stage Pompa

Untuk menghitung jumlah tingkat pompa (stage), digunakan Total Dynamic Head (TDH, ft) dibagi dengan harga head/stage yang didapatkan dari memplotkan Q pada Kurva IPR.

$$Jumlah\ Stage = \frac{TDH}{Head/Stage} \dots\dots\dots (2-29)$$

Setelah mendapatkan hasil jumlah stage dengan rumus di atas kemudian kita memilih satu tandem pompa pada katalog pompa yang tersedia. Jika jumlah stage hasil perhitungan tidak tersedia pada satu tandem pada katalog pompa maka pilihlah jumlah stage yang terdekat lebih banyak dari jumlah stage hasil perhitungan. Dan jika jumlah stage terlalu banyak dan tidak tersedia pada jumlah segitu dalam satu tandem maka kita bisa memakai dua tandem pompa dengan konsekuensi harga lebih mahal. (Kermit E. Brown, 1980)

2.3.13 Pemilihan Motor Dan Horse Power

Brake Horse power adalah sebuah satuan penunjukan daya sebuah mesin sebelum dikurangi oleh losses akibat desain sistem atau losses lainnya. HP yang dibutuhkan pompa dapat diperoleh dengan menggunakan rumus:

$$HP\ required\ by\ pump = Jumlah\ Stage \times Hp/Stage \dots\dots\dots (2-30)$$

Harga HP/Stage didapatkan dari Kurva Pompa. Sedangkan untuk menentukan HP yang dibutuhkan motor kita menggunakan rumus:

$$HP \text{ required by Motor} = \frac{HP \text{ required by pump}}{80\%} \dots\dots\dots(2-31)$$

Setelah mendapatkan hasil HP yang dibutuhkan motor maka kemudian kita melihat pada katalog motor. Sama seperti jumlah stage, jika tidak ada HP yang tersedia pada satu motor maka gunakanlah HP terdekat yang lebih tinggi atau gunakan dua motor. (Kermit E. Brown, 1980)

2.3.14 Pemilihan Switchboard Dan Transformer

Menentukan switchboard yang akan dipakai perlu diketahui terlebih dahulu berapa besarnya voltage yang akan bekerja pada switchboard tersebut. Besarnya tegangan yang bekerja dapat dihitung dari persamaan berikut ini :

$$V_s = V_m + V_c, \text{ Volt} \dots\dots\dots(2-32)$$

$$V_c = (L/100) \times \text{Voltage}, \text{ Volt} \dots\dots\dots(2-33)$$

Keterangan :

V_s = surface voltage, Volt

V_m = motor voltage, volt

V_c = correction voltage, volt

L = Panjang kabel, ft

Voltage drop = kehilangan voltage, volt/100. (Kermit E. Brown, 1980)

Menentukan besarnya tegangan transformer yang diperlukan dihitung dengan persamaan berikut :

$$T = \frac{V_s \times I_m \times 1,73}{1000}, \text{ KVA} \dots\dots\dots(2-34)$$

Keterangan :

T = ukuran transformer,

KVA V_s = Surface voltage, volt

I_m = Ampere motor, ampere (Kermit E. Brown, 1980)

2.4. Produktivitas Formasi

Produktivitas formasi adalah kemampuan suatu formasi untuk memproduksi fluida yang dikandungnya pada kondisi tekanan tertentu. Pada umumnya sumur-sumur yang baru ditemukan mempunyai tenaga pendorong

alamiah yang mampu mengalirkan fluida hidrokarbon dari reservoir ke permukaan dengan tenaganya sendiri, dengan berjalannya waktu produksi, kemampuan dari formasi untuk mengalirkan fluida tersebut akan mengalami penurunan, yang besarnya sangat tergantung pada penurunan tekanan reservoir. (Satya Wicaksana, 2011)

Parameter yang menyatakan produktivitas formasi adalah Index Iroduktivitas (PI) dan Inflow Performance Relationship (IPR). (Satya Wicaksana, 2011)

2.5. Index Produktivitas (PI)

Menurut buku dari (Agus Sugiharto,-) Index Produktivitas merupakan index yang digunakan untuk menyatakan kemampuan suatu formasi untuk berproduksi pada suatu beda tekanan tertentu atau merupakan perbandingan antara laju produksi yang dihasilkan formasi produktif pada drawdown yang merupakan beda tekanan dasar sumur saat kondisi statis (P_s) dan saat terjadi aliran (P_{wf}).

PI dituliskan dalam bentuk persamaan :

$$PI = J = \frac{Q}{P_s - P_{wf}}, \text{ STB/Day/Psi} \dots\dots\dots(2-35)$$

Keterangan :

Q = gross liquid rate, STB/hari

P_s = tekanan static reservoir, psi

P_{wf} = tekanan alir dasar sumur, psi

$P_s - P_{wf}$ = draw-down pressure, psi

Jarang fluida formasi satu fasa, bila tekanan reservoir dibawah tekanan bubble point minyak, dimana gas semula larut akan terbebaskan, membuat fluida menjadi dua fasa. Menurut Muskat, bentuk IPR pada kondisi tersebut melengkung, sehingga PI menjadi suatu perbandingan antara perubahan laju produksi (dq) dengan perubahan tekanan alir dasar sumur, (dP_{wf})

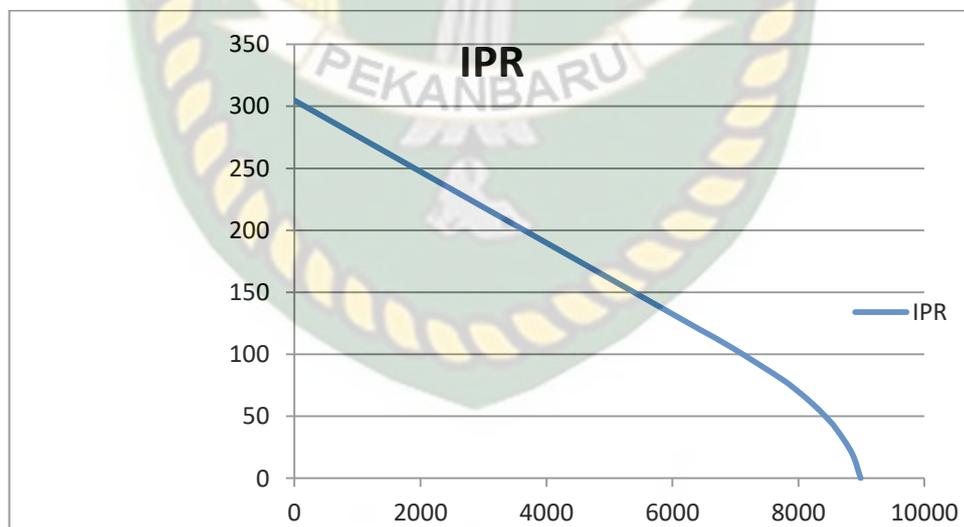
$$PI = \frac{dq}{dP_{wf}} \dots\dots\dots(2.36)$$

(Agus Sugiharto,-)

2.6. Inflow Performance Relationship (IPR)

Inflow Performance Relationship merupakan gambaran kemampuan sumur reservoir untuk mengalirkan produksi minyak. Inflow Performance Relationship atau dikenal juga dengan nama IPR diberikan dalam bentuk grafik yang merupakan hubungan antara tekanan alir dasar sumur dimuka formasi (P_{wf}) terhadap alju alir fluida (Q), yang terdiri dari aliran minyak dan air (satu fasa), maupun Minyak, Air, dan Gas (dua fasa). (Desma Cendra. 2018)

Pada kondisi tekanan reservoir diatas tekanan saturasi atau *bubble point pressure*, harga PI akan konstan yang ditunjukkan dengan garis lurus pada kurva. Sedangkan dengan reservoir dengan tekanan dibawah *bubble point pressure*, kurva IPR akan membentuk garis lengkung. (Desma Cendra. 2018)



Gambar 2.5 Kurva IPR

2.7. Simulator AutographPC

Menurut buku The ESP 9-Step Book (2011) AutographPC adalah perangkat lunak untuk mendesain ESP dari Baker Hughes yang terkemuka di

industri migas. Program berbasis Windows ini kompatibel dengan sistem operasi Microsoft dari Windows 95 hingga Windows XP. Perangkat lunak AutographPC digunakan oleh sales Baker Hughes, *product development* dan *applications engineers*, teknisi dan operator lapangan untuk merancang sistem ESP yang optimal untuk setiap sumur. Perangkat lunak AutographPC berguna pada frekuensi tetap (50 atau 60 Hz) dan variabel, dan membuatnya praktis untuk menghasilkan *performance curve* yang unik untuk setiap ukuran. Memahami teori dasar untuk mendesain pompa submersible dianggap sebagai prasyarat untuk menggunakan perangkat lunak ini,

Kompleksitas yang terkait dengan perancangan system variable speed pompa elektrik submersible pump, bersama dengan diperkenalkannya berbagai korelasi aliran multifasa, telah menjadikannya kandidat ideal untuk aplikasi desktop atau laptop seperti perangkat lunak AutographPC. Setiap pengaplikasian variabel kecepatan adalah informasi yang unik dan terperinci tentang penyelesaian sumur, riwayat produksi dan kondisi reservoir sangat penting selama fase desain awal

Perangkat lunak AutographPC sangat menyederhanakan proses mendesain ESP. Program ini mendesain ESP dengan terlebih dahulu membuat representasi gambar dari kinerja sumur berdasarkan kebutuhan hidrolis tertentu. Ini dilakukan pada Layar Informasi Sumur yang merupakan dokumen input untuk semua data sumur. Setelah pembuatan model sumur, program akan memungkinkan Anda untuk mengintegrasikannya dengan model pompa untuk menggambarkan kinerja sistem secara grafis. Ada beberapa layar tambahan yang tersedia yang memungkinkan Anda memilih metode ukuran yang sesuai, serta memilih masing-masing komponen yang membentuk sistem ESP.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Metodologi Penelitian

Adapun tahapan-tahapan metode penelitian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah :

1. Studi pustaka

Studi pustaka dilakukan pada beberapa referensi mengenai parameter yang mendukung penelitian ini secara keilmuan sehingga dalam pembahasannya akan ditunjang dengan latar belakang serta teori yang kuat.

2. Kunjungan Lapangan

Kunjungan lapangan dilakukan ke **PT CHEVRON PACIFIC INDONESIA (CPI) - Minas**. Pada kunjungan lapangan ini akan dibahas mengenai data yang dibutuhkan untuk melakukan penelitian. Pada kegiatan ini peneliti melakukan diskusi dengan Teknisi, Artificial Engineer, serta dengan Petroleum Engineer.

3. Pengumpulan data

Pada pengumpulan data ini, dilakukan investigasi parameter apa saja yang dapat meningkatkan *Well Flow Rate*. Pada pengumpulan data ini juga dilakukan *sensitivity analysis* terhadap parameter yang diinginkan. Selain itu dilakukan juga pengumpulan data secara sistematis dengan memperhatikan parameter – parameter lainnya yang akan digunakan dalam *software AutographPC* dan perhitungan manual menggunakan rumus yang sesuai. Yang mana data tersebut didapat dari kegiatan kunjungan ke PT. CHEVRON PACIFIC INDONESIA (CPI) - Minas. Data yang diperlukan yaitu data primer yang berupa data Produksi, data Reservoir dan data Pompa terpasang pada sumur kajian. Sedangkan data sekunder merupakan data

penunjang dari data primer dan juga data pendukung yang berkaitan dengan permasalahan berupa data karakteristik reservoir pada lapangan Minas.

3.2. Metode Analisa Data

1. Pengolahan data

Pengolahan data dilakukan dengan melakukan simulasi dengan menggunakan *Simulator / Software AutographPC* dan perhitungan manual menggunakan rumus yang sesuai.

2. Evaluasi data

Evaluasi hasil dari pengolahan data dalam penelitian ini dilakukan dengan cara memberikan profil hubungan antar parameter. Sehingga dapat diketahui bagaimana pengaruh parameter peningkatan *frekuensi* dalam meningkatkan *performance* sumur dan meningkatkan *Flow Rate* pada sumur dengan sistem pengangkatan menggunakan pompa ESP.

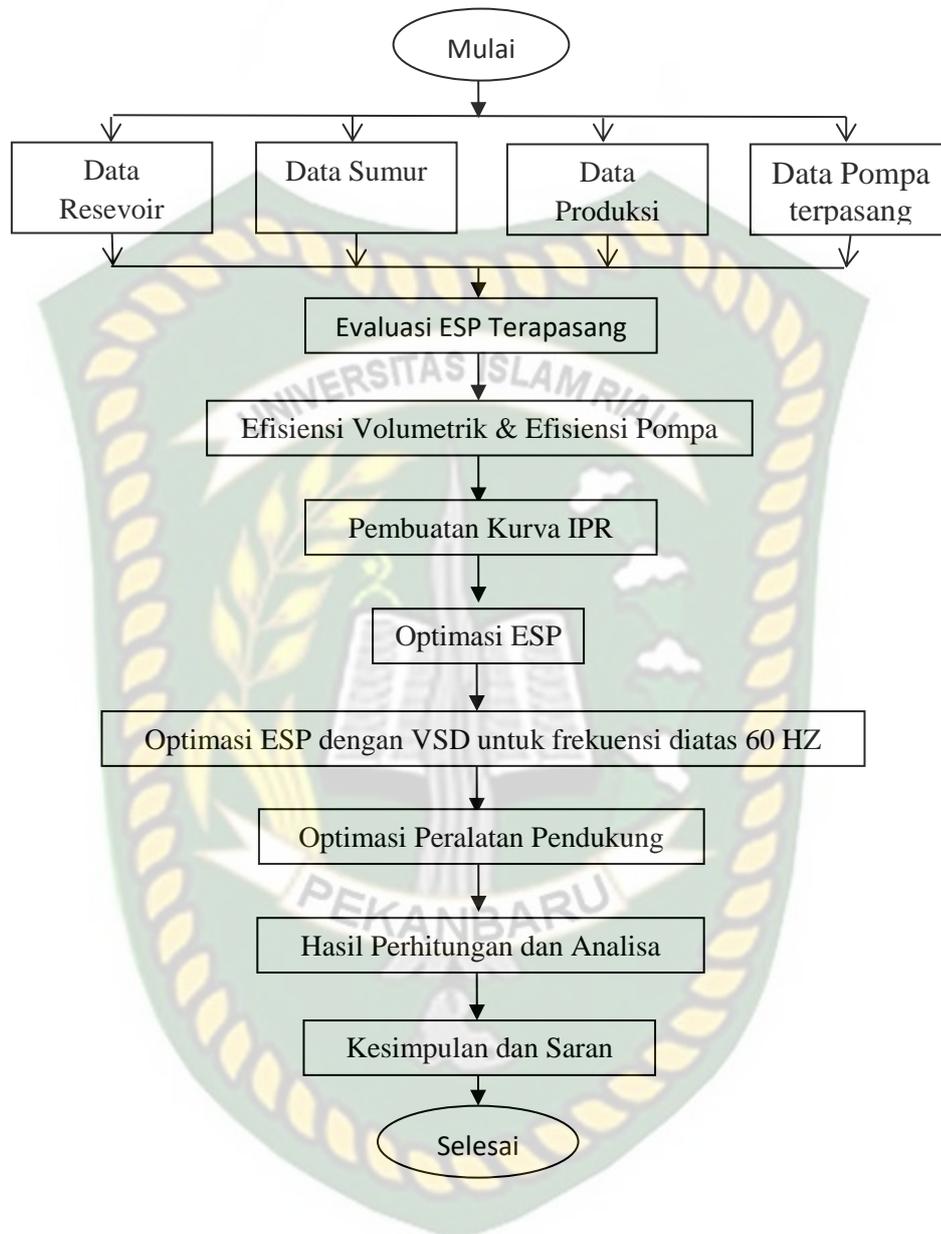
3.3. Konsep Operasional

Konsep penelitian dimulai dengan melakukan input data dari beberapa data seperti data reservoir, data produksi dan data pompa terpasang dari sumur kajian untuk dikonversikan ke dalam *software AutographPC*. Melalui konversi data tersebut dapat dijadikan sebagai acuan untuk dapat dilakukan optimasi produksi pada sumur ESP. Setelah itu dilakukan scenario optimasi pada sumur. Dimana scenario yang dimaksud dalam penelitian yaitu peningkatan *frekuensi* dengan menggunakan *variable speed drive*.

Dalam mengoptimasi sumur minyak, dilakukan dengan cara menentukan laju alir maksimum (*Liquid Ratio*) dan juga besaran efisiensi pompa ESP. Penentuan laju produksi yang diinginkan dari penelitian ini yaitu dibuat berdasarkan kurva IPR dan permintaan petroleum engineer tersebut.

3.4. Flow Chart

Tahapan penelitian dapat ditampilkan dalam bentuk *flow chart* sebagai berikut:



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.5. Studi Lapangan

3.5.1 Sejarah dan Pengembangan Lapangan Minas

Lapangan minyak Minas ditemukan pada tahun 1944, setelah sebelumnya ditemukan lapangan minyak Duri pada tahun 1941. Lapangan minyak Minas mulai dibor pada 10 Desember 1943 dan selesai pada 4 Desember 1944 dengan kedalaman 2624 ft yang sekaligus dijadikan momentum bersejarah penemuan sumur minyak pertama di Minas.

Sekitar tahun 1940-an terjadilah Perang Dunia II sekaligus perang perjuangan kemerdekaan Indonesia, ini sangat berpengaruh terhadap sejarah produksi minyak Caltex di kedua lapangan minyak tersebut. Baru sekitar tahun 1952, sejarah produksi minyak Caltex di lapangan Minas aktif dimulai, sedangkan sejarah produksi di lapangan Duri dimulai pada tahun 1958.

Pada tanggal 20 April 1952 di lapangan Minas telah terdapat 35 sumur minyak yang memproduksi secara *natural flow*. Pada tahun 1958 produksi lapangan Minas telah mencapai 200.000 BOPD. Setelah 17 tahun produksi, tepatnya tanggal 4 Mei 1969, produksi minyak di lapangan minyak Minas telah mencapai jumlah produksi kumulatif sebesar satu milyar barrel yang merupakan produksi kumulatif terbesar pertama di Asia.

Pengembangan lapangan dilanjutkan hingga mencapai 164 sumur pada lapangan Minas, beberapa diantaranya telah diproduksi dengan menggunakan sistem pengangkatan buatan yaitu dengan menggunakan *sucker rod pump* karena tidak mampu lagi memproduksi secara *natural flowing*. Dengan penggunaan *sucker rod pump* ini, produksi minyak Minas mencapai 165.700 BOPD.

Pada tahun 1960-an, mulai dikembangkan *electric submersible pump* dan di lapangan Minas mulai dioperasikan pompa jenis ini. Pompa jenis ini memiliki kemampuan dalam mengangkat fluida formasi dalam jumlah besar. Meskipun lapangan Minas memiliki *reservoir* dengan jumlah *strong water drive*, namun pada pertengahan tahun 1960-an tekanan *reservoir* mengalami penurunan yang signifikan sehingga pada tahun 1970 program *peripheral water injection* mulai diterapkan pada lapangan Minas di bagian sisi barat untuk menjaga tekanan *reservoir*. Program ini kemudian dikembangkan pada seluruh daerah di lapangan Minas.

Pada bulan Mei hingga Agustus 1973, produksi minyak CPI mencapai puncaknya dengan produksi sebesar satu juta BOPD, lapangan Minas memberikan kontribusi sebesar 440.000 BOPD, namun tidak lama kemudian produksi lapangan minyak Minas yang memiliki karakteristik

minyak ringan ini mulai mengalami penurunan, begitu juga dengan lapangan minyak Duri yang memiliki karakteristik minyak berat. Produksi *crude oil* PT. CPI mencapai 65,8 % dari total produksi Indonesia pada tahun 1974 dan terus turun menjadi 46,5 % pada tahun 1990.

Melihat produksi minyak yang terus mengalami penurunan, pada tahun 1980-an PT. CPI memutuskan untuk memulai *world's largest steamfloodingproject* di lapangan Duri setelah sebelumnya di lapangan Minas dilakukan *water flooding*. Hal ini dilakukan untuk mempertahankan produksi minyak dari lapangan-lapangan tersebut. Sampai dengan tahun 1990, jumlah sumur di Minas telah mencapai di atas 600 sumur dengan produksi rata-rata 230.000 barrel minyak per hari dan injeksi air 1.650.000 barrel per hari.

Pada tahun 1990-an ini juga PT. CPI gencar melakukan 3D seismic bahkan 4D seismic untuk menemukan cadangan-cadangan minyak tambahan yang potensial untuk diproduksi serta untuk memonitor *reservoir* guna meningkatkan *reservoir management*. Konsep pengembangan sistem injeksi air dengan pola 7 titik terbalik 72 *acre (seven spot inverted)* dimulai pada bulan Desember 1993 pada *Minas main segment* dengan maksud menjaga tekanan *reservoir* dan meningkatkan *sweep efficiency*.

Berdasarkan data produksi sampai dengan akhir tahun 1997, lapangan Minas telah menghasilkan produksi kumulatif minyak sebesar 4.056.254.000 barrel minyak dari 701 sumur produksi dan kumulatif injeksi air sebesar 12.146.553.000 barrel air dari 253 sumur injeksi.

Awal tahun 1999, dimulai sistem injeksi uap dengan pola *seven spot inverted* dengan maksud mendorong minyak yang tidak terdorong oleh air injeksi sehingga minyak tersebut dapat diproduksi. Proyek ini dinamakan LOSF (*Light Oil Steam Flood*), namun proyek ini dianggap tidak begitu baik atau dinyatakan gagal sehingga proyek ini dihentikan. Pada bulan Maret 1999 jumlah sumur di Minas mencapai 1283 sumur dari 848 sumur produksi, 289 sumur injeksi dan 146 sumur lainnya dengan produksi 203.000 BOPD dan injeksi air sebesar 6.319.000 BWPD. Sampai dengan tahun 2006, total jumlah

sumur di lapangan Minas mencapai 1720 sumur dengan produksi sekitar 90.000 BOPD dan injeksi air sebanyak 6 juta BWPD. Produksi kumulatif minyak dari lapangan tua ini telah mencapai 4,6 milyar barrel dari total cadangan yang diperkirakan sebanyak 9 milyar barrel *initial oil in place* (IOIP).

Proyek injeksi uap di lapangan Duri dan injeksi air di lapangan Minas masih berlangsung sampai saat ini, namun pada lapangan Minas sudah memasuki tahap akhir yang kemudian akan dilanjutkan dengan *tertiary recovery* berupa injeksi *surfactant*. *Surfactant Project* ini rencananya akan dilangsungkan pada tahun 2010, sampai saat ini pengembangan dan uji coba terus dilakukan guna menghasilkan keberhasilan perolehan minyak yang optimum serta keekonomisan dalam pelaksanaan proyek tersebut.

3.5.2 Keadaan Geologi

Keadaan geologi lapangan Minas berdasarkan lokasinya terdapat pada cekungan Sumatra Tengah dimana pembentukannya bersamaan dengan cekungan Sumatra Selatan. Batas kedua cekungan tersebut berupa suatu kawasan yang mengarah ke timur laut-barat daya melalui pegunungan tigapuluh. Di sebelah Barat Daya cekungan yang asimetris dibatasi oleh sesar-sesar dan singkapan batuan pra tersier disepanjang kawasan kaki pegunungan bukit barisan. Di sebelah timur laut dibatasi oleh dataran tinggi Lampung dan suatu dataran tinggi yang letaknya sejajar dengan Pantai Timur Sumatra. Sedangkan pada bagian Utara dan Barat Laut dibatasi oleh dataran tinggi Asahan dan singkapan batuan pra tersier.

Dari sejarahnya, cekungan ini terbentuk pada zaman tersier awal (Eosen– Oligosen) yang berkembang dari serangkaian blok–blok yang naik turun (*Graben* dan *Horst Block*) akibat regangan berarah Timur–Barat. Adanya gerakan *transform* antara lempeng Sunda dan lempeng Samudra Hindia pada awal *Paleosen* menimbulkan peregangan pada bagian Barat dataran Sunda dan menghasilkan terban pematang.

Pada saat ditemukan, lapangan Minas memiliki temperatur berkisar antara 180 ° F - 215°F dengan temperatur rata-rata datumnya 209 °F dan tekanan pada datumnya sebesar 900 Psi.

3.5.4 Mekanisme Pendorong Reservoir

Berdasarkan bentuk struktur geologi dan stratigrafi lapangan Minas, tenaga pendorong di *reservoir* adalah *strong water drive*. Tenaga pendorong jenis ini mempunyai kemampuan produksi yang baik tetapi air dari *aquifer* akan cepat terproduksi ke atas permukaan. Untuk mengatasi turunnya tekanan *reservoir*, maka dilakukan injeksi air selain karena jenis minyak Minas yang ringan, juga teknologi ini masih ekonomis dan terbukti berhasil.

3.5.5 Heterogenitas Batuan

Sebagian besar formasi batupasir pada mulanya terhampar sebagai lapisan yang berlapis dengan porositas dan permeabilitas bervariasi. Proses Sedimentasi yang normal menyebabkan perlapisan secara alamiah. Aliran fluida pada lapisan tersebut memiliki derajat kemudahan alir yang berbeda dan pada *zona non permeabel* akan memisahkan *zona permeabel* sehingga tidak terdapat fluida yang mengalir dari suatu lapisan ke lapisan lainnya. Pada lapisan yang tipis atau terstratifikasi, kemungkinan terjadi pergerakan fluida terhadap perlapisan atau *fingering* seperti gas bebas dari gas cap atau naiknya air dari *aquifer* dapat terjadi ketika kompleksi dilakukan dengan interval yang pendek disertai laju produksi sumur yang tinggi. Pada bagian *reservoir* yang terstratifikasi oleh *shale break* atau variasi permeabilitas maka hal yang penting dilakukan adalah mengatur interval kompleksi perforasi dimana seluruh variasi lapisan *reservoir* harus dipastikan mengalir. Beberapa pengaturan interval kompleksi secara vertikal dapat berpengaruh terhadap laju alir produksi dari variasi lapisan tersebut. Untuk memaksimalkan perolehan dari *reservoir* Minas, secara praktis interval produksi harus dilakukan pada zona yang sudah diidentifikasi.

3.6. Tempat Pelaksanaan Penelitian.

Tempat Pelaksanaan Penelitian ini dilaksanakan di **PT. CHEVRON PACIFIC INDONESIA (CPI) - Minas**. Kecamatan Minas, Kabupaten Siak, Riau.

3.7. Waktu Pelaksanaan Penelitian

Waktu pelaksanaan penelitian ini berlangsung selama lebih dari 2 bulan mulai tanggal 20 Oktober 2019 s/d 30 Desember 2019 di lingkungan **PT. CHEVRON PACIFIC INDONESIA (CPI) - Minas**.

Tabel berikut menerangkan jadwal pelaksanaan penelitian tugas akhir:

Kegiatan dan Waktu Pelaksanaan	September 2019				Oktober 2019				November 2019				Desember 2019			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Studi Literatur																
Seminar Proposal																
Riset Lapangan																
Pengumpulan dan Pengolahan Data																
Evaluasi dan Pengoptimalan Pompa ESP																
Penyusunan TA																
Presentasi TA																

Tabel 3.1 Jadwal Pelaksanaan Penelitian Tugas Akhir (Analisa Penulis)

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian tugas akhir ini, data yang ada pada sumur “X” di lapangan “Y” yaitu data *reservoir*, data sumur, data produksi dan data pompa. Pengevaluasian *electric submersible pump* dilakukan dengan cara menentukan efisiensi volumetric dan efisiensi pompa. Kemudian pengoptimasian *electric submersible pump* dilakukan dengan cara memvariasikan frekuensi pompa diatas frekuensi 60 Hz menggunakan *Variable Speed Drive* (VSD) secara hitung manual yang kemudian dilakukan perbandingan menggunakan software AutographPC.

4.1 Data Sumur X Lapangan Y

4.1.1 Data Reservoir

Parameter	Nilai	Satuan
API	35	
SG Water	1.003	
SG Gas	0.833	
ProdGOR	35	
Bubble Point Pressure	105	Psi
BHT	180	F

Tabel 4.1 Data Reservoir

4.1.2 Data Sumur

Parameter	Nilai	Satuan
Kedalaman sumur	1835	Ft
Perforasi	1502	Ft
CasingID	6.366	Inch
Tubing Pressure	150	Psi

Tabel 4.2 Data Sumur

4.1.3 Data Produksi

Parameter	Nilai	Satuan
Laju Alir Fluida	2908	BPD
Laju Alir Minyak (Qo)	744,8	BOPD
Laju Alir Air (Qw)	2163,2	BWPD
Water Cut	74,39	%
Tubing ID	2.992	Inch
Wellhead Pressure	103	Psi
SFL	772	Ft
WFL	972	Ft

Tabel 4.3 Data Produksi

4.1.4 Data Pompa

Parameter	Nilai	Satuan
Tipe Pompa	P23SND	
Frekuensi	60	Hz
Stages	38	Stages
Range capacity	1200 - 2900	BPD
Pump Setting Depth	1470	Ft
Series Motor	562SP	
Model	75 HP 1030 Volt 45 Ampere	
Series Seal	513	
Type Cable	#AWG1	
transformer	100	KVA
VSD	163	KVA

Tabel 4.4 Data Pompa

4.2 Evaluasi ESP Terpasang

1. Penentuan Gradien Fluida

$$SG_w = \text{Water cut} \times SG_{\text{water}}$$

$$= 0,7439 \times 1,003$$

$$= 0,746$$

$$SG_o = \text{Oil Content} \times SG_{oil}$$

$$= (1 - 0,7439) \times (141,5 / (131,5 + API))$$

$$= 0,218$$

$$SG_{fluida} = SG_w + SG_o$$

$$= 0,746 + 0,218$$

$$= 0,964$$

$$\text{Gradien Fluida (Gf)} = SG_{fluida} \times 0,433$$

$$= 0,964 \times 0,433$$

$$= 0,417 \text{ psi/ft}$$

2. Penentuan Tekanan Statis (Ps) dan Tekanan Alir Dasar Sumur (Pwf)

$$P_s = (\text{Perforasi} - \text{SFL}) \times G_f$$

$$= (1502 - 772) \times 0,417$$

$$= 304,711 \text{ psi}$$

$$P_{wf} = (\text{Perforasi} - \text{WFL}) \times G_f$$

$$= (1502 - 972) \times 0,417$$

$$= 221,228 \text{ psi}$$

3. Penentuan Pump Intake Pressure (PIP)

$$\text{Perbedaan kedalaman} = \text{Perforasi} - \text{Pump Setting Depth}$$

$$= 1502 - 1470$$

$$= 32 \text{ ft}$$

$$\text{Perbedaan Tekanan} = \text{Perbedaan Kedalaman} \times G_f$$

$$= 32 \times 0,417$$

$$= 13,357 \text{ psi}$$

$$\text{Pump Intake Pressure (PIP)} = P_{wf} - \text{Perbedaan Tekanan}$$

$$= 221,23 - 13,357$$

$$= 207,871 \text{ psi}$$

4. Penentuan Vertical Lift (HD)

$$\text{Fluid Over Pump (FOP)} = \frac{PIP}{G_f}$$

$$= \frac{207,871}{0,417}$$

$$= 498 \text{ ft}$$

$$\text{Vertical Lift (HD)} = \text{PSD} - \text{FOP}$$

$$= 1470 - 498$$

$$= 972 \text{ ft}$$

5. Penentuan Tubing Friction Loss (Hf)

$$\text{Friction Loss} = \frac{2,0830 \times \frac{100^{1,85} Q_t^{1,85}}{c^{34,3}}}{ID^{4,8655}}$$

$$= \frac{2,0830 \times \frac{100^{1,85} 2908^{1,85}}{120^{34,3}}}{2,992^{4,8655}}$$

$$= 26,532 \text{ ft/ 1000 ft}$$

$$\text{Tubing Friction Loss (HF)} = \text{Friction Loss} \times \text{PSD}$$

$$= 26,532/1000 \times 1470$$

$$= 39,002 \text{ ft}$$

6. Penentuan Tubing Head (HT) = $\frac{Pwh}{Gf}$

$$= \frac{150}{0,417}$$

$$= 359,357 \text{ ft}$$

7. Penentuan Total Dynamic Head (TDH)

$$\text{TDH} = \text{HD} + \text{HF} + \text{HT}$$

$$= 972 + 39,002 + 359,357$$

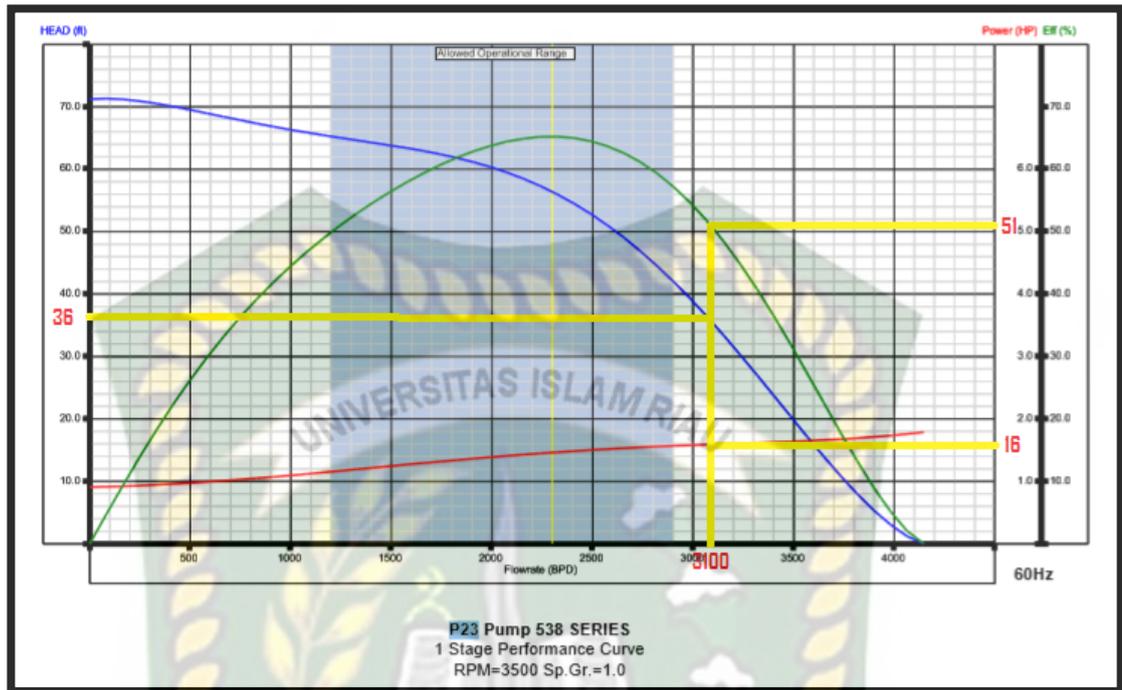
$$= 1370,359 \text{ ft}$$

8. Penentuan Head/Stage

$$\text{Head/Stage} = \frac{\text{TDH}}{\text{Stage}}$$

$$= \frac{1370,359}{38}$$

$$= 36 \text{ ft/stage}$$



Gambar 4.1 Evaluasi Pump Performance Curve P23

Dari **Gambar 4.1** diatas, dengan memplotkan nilai Head/Stages **36** ft didapat data sebagai berikut :

- $Q_{actual} = 2908$ BFPD
- $Q_{theoretical} = 3100$ BFPD
- Efisiensi Pompa = **51 %**

9. Penentuan Efisiensi Volumetris (%EV)

$$\begin{aligned}
 \text{Efisiensi Volumetris (\%EV)} &= \frac{Q_{actual}}{Q_{theoretical}} \times 100\% \\
 &= \frac{2908}{3100} \times 100\% \\
 &= 93,8 \%
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan evaluasi ditunjukkan pada **table 4.5** di bawah ini.

Pompa Terpasang	Frekuensi (Hz)	Jumlah Stages	Q_{actual} (BFPD)	Q_{teori} (BFPD)	Head (ft)	Efisiensi Pompa (%)	Efisiensi Volumetris (%)
P23SND	60	38	2908	3100	1370,359	51	93,8

Tabel 4.5 Data Evaluasi Pada P23

4.3 Penentuan Produktivitas Formasi

Sebelum melakukan perubahan frekuensi pompa menggunakan Variable Speed Drive pada pompa ESP, terlebih dahulu menentukan produktivitas formasi yang dapat disajikan dalam bentuk kurva IPR.

Sesuai dengan data yang tersedia, bahwa tekanan static lebih besar dari tekanan jenuh atau ($P_s > P_b$) dan $P_{wf} > P_b$) maka pembuatan kurva IPR dilakukan dengan metode 1 fasa dan 2 fasa. Langkah pembuatan kurva IPR sebagai berikut :

1. Menentukan Produktivitas Index (PI).

$$\begin{aligned} PI &= \frac{Q}{P_s - P_{wf}} \\ &= \frac{2908}{304,711 - 221,228} \\ &= 34,834 \text{ BPD/psi} \end{aligned}$$

2. Menentukan laju alir pada tekanan jenuh (Q_b).

$$\begin{aligned} Q_b &= PI (P_s - P_b) \\ &= 34,834 (304,711 - 105) \\ &= 6956,663 \text{ BFPD} \end{aligned}$$

3. Menentukan Nilai Q_{max} .

$$\begin{aligned} Q_{max} &= Q_b + \frac{PI \times P_b}{1,8} \\ &= 6956,663 + \frac{34,834 \times 105}{1,8} \\ &= 8988,628 \text{ BFPD} \end{aligned}$$

4. $Q_{optimum} = \frac{80}{100} \times Q_{max}$

$$\begin{aligned} &= \frac{80}{100} \times 8988,628 \\ &= 7190,902 \text{ BFPD} \end{aligned}$$

5. Hitung laju produksi pada tekanan alir dasar sumur lebih besar dari tekanan jenuh ($P_{wf} > P_b$)

- Menggunakan asumsi $P_{wf} = 150$ psi

$$\begin{aligned} Q &= PI (P_s - P_{wf}) \\ &= 34,834 (304,711 - 150) \\ &= 5389,147 \text{ BFPD} \end{aligned}$$

- Menggunakan asumsi $P_{wf} = 200$ psi

$$\begin{aligned} Q &= PI (P_s - P_{wf}) \\ &= 34,834 (304,711 - 200) \\ &= 3647,462 \text{ BFPD} \end{aligned}$$

6. Hitung laju produksi pada tekanan alir dasar sumur lebih kecil dari tekanan jenuh ($P_{wf} < P_b$)

- Menggunakan asumsi $P_{wf} = 70$ psi

$$\begin{aligned} Q &= Q_b + (Q_{max} - Q_b) \left(1 - 0,2 \left(\frac{P_{wf}}{P_b} \right) - 0,8 \left(\frac{P_{wf}}{P_b} \right)^2 \right) \\ &= 6956,663 + (8988,628 - 6956,663) \times \left(1 - \right. \\ &\quad \left. 0,2 \left(\frac{70}{105} \right) - 0,8 \left(\frac{70}{105} \right)^2 \right) \\ &= 7995,223 \text{ BFPD} \end{aligned}$$

- Menggunakan asumsi $P_{wf} = 50$ psi

$$\begin{aligned} Q &= Q_b + (Q_{max} - Q_b) \left(1 - 0,2 \left(\frac{P_{wf}}{P_b} \right) - 0,8 \left(\frac{P_{wf}}{P_b} \right)^2 \right) \\ &= 6956,663 + (8988,628 - 6956,663) \times \left(1 - \right. \\ &\quad \left. 0,2 \left(\frac{50}{105} \right) - 0,8 \left(\frac{50}{105} \right)^2 \right) \\ &= 8426,497 \text{ BFPD} \end{aligned}$$

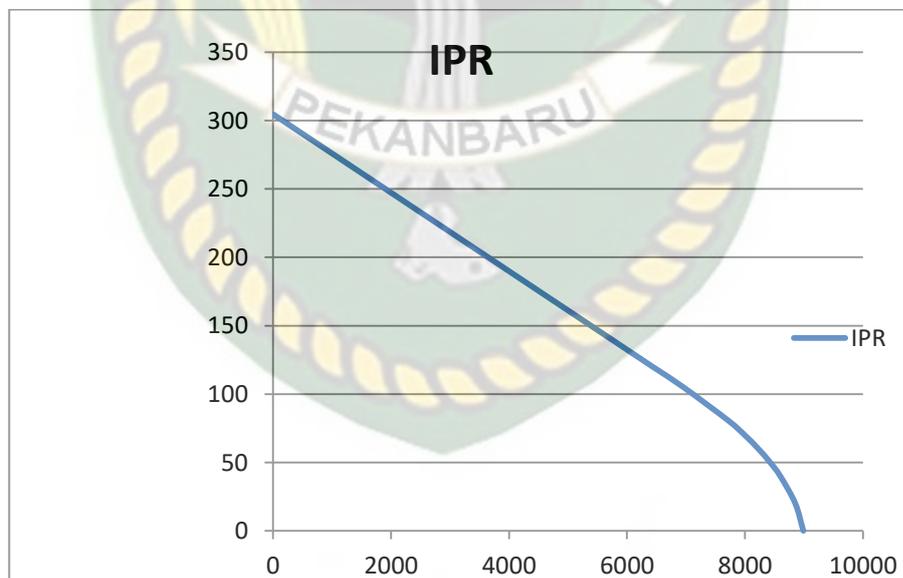
Hasil perhitungan Q pada berbagai harga P_{wf} asumsi ditunjukkan pada **Tabel 4.6** di bawah ini.

P_{wf} (psi)	Q (BFPD)
304.711	0
300	164.093
280	860.767
260	1557.441
240	2254.115
221.228	2908
200	3647.462
180	4344.136

160	5040.810
150	5389.147
140	5737.483
120	6434.157
105	6956.663
80	7735.352
70	7995.223
60	8225.604
50	8426.497
40	8597.901
20	8852.242
0	8988.628

Tabel 4.6 IPR Q Terhadap Pwf

7. Membuat kurva IPR (plot harga Q vs Pwf asumsi)



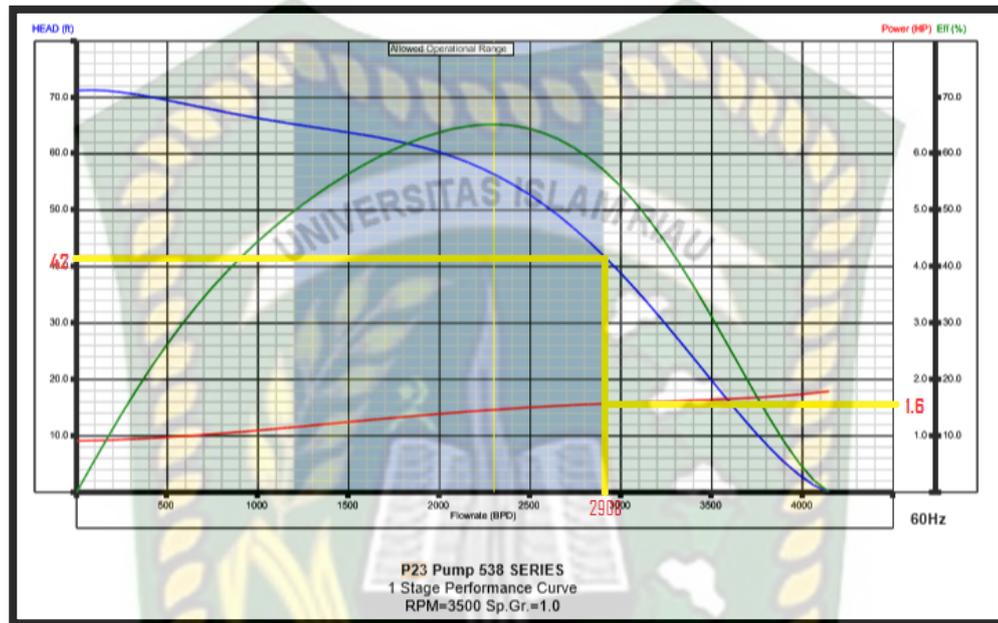
Gambar 4.2 Kurva IPR P23

4.4 Optimasi ESP terpasang menggunakan Frekuensi

Pengoptimasian pompa ESP berikut dilakukan pada pompa terpasang pada sumur "X" yaitu pompa series P23SND dengan merubah frekuensi putaran pompa hingga diatas 60 Hz dengan menggunakan VSD.

4.4.1 Penentuan head dan motor load

Penentuan Head dan Motor Load pada pompa P23 menggunakan Pump Performance Curve pada **Gambar.4.3** di bawah ini.



Gambar 4.3 Pump Performance Curve P23 untuk Menentukan Head dan Motor Load

Dari **Gambar 4.3** Diatas, dengan memplot laju produksi actual ($Q_t = 2908$ BFPD) di dapat data sebagai berikut :

- Head = 42 ft/stages
Head total = $42 \times 38 = 1596$ ft
- Motor Load = 1.6 HP/stages
Motor Load total = $1,6 \times 38 = 60,8$ HP

4.4.2 Penentuan Rate, Head, dan Motor Load dengan Frekuensi Baru

Dengan merubah frekuensi pada VSD maka *flowrate*, *Head*, dan *Motor Load* juga akan berubah, besarnya perubahan *flowrate*, *Head*, dan *Motor Load* dapat di ketahui menggunakan persamaan *affinity Law*, persamaannya adalah sebagai berikut :

$$\text{Rate Baru} = \frac{\text{Frekuensi Baru}}{\text{frekuensi awal}} \times \text{Rate awal}$$

$$\text{Head Baru} = \left(\frac{\text{frekuensi baru}}{\text{frekuensi awal}}\right)^2 \times \text{Head awal}$$

$$\text{Motor Load Baru} = \left(\frac{\text{frekuensi baru}}{\text{frekuensi awal}}\right)^3 \times \text{Motor Load awal}$$

Pada Pompa P23SND di sumur "X" memiliki frekuensi 60 Hz dengan Flowrate 2908 BFPD, Head 1596 ft, dan Motor Load 60,8 HP. Dengan menaikkan Frekuensi menjadi 63 Hz, Maka :

$$\begin{aligned} \text{Rate 63 Hz} &= \frac{63 \text{ Hz}}{60 \text{ Hz}} \times 2908 \text{ BFPD} \\ &= 3053,4 \text{ BFPD} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Head 63 Hz} &= \left(\frac{63}{60}\right)^2 \times 1596 \text{ ft} \\ &= 1759,59 \text{ ft} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Motor Load 63 Hz} &= \left(\frac{63}{60}\right)^3 \times 60,8 \text{ HP} \\ &= 70,384 \text{ HP} \end{aligned}$$

Frekuensi (Hz)	Rate (BPD)	Head (ft)	Motor Load (HP)	Rate Oil
60	2908	1596	60.8	744.7388
61	2956.467	1649.643	63.891	757.1511
62	3004.933	1704.173	67.085	769.5634
63	3053.4	1759.59	70.384	781.9757
64	3101.867	1815.893	73.789	794.3881
65	3150.333	1873.083	77.302	806.8004
66	3198.8	1931.16	80.925	819.2127
67	3247.267	1990.123	84.659	831.625
68	3295.733	2049.973	88.507	844.0373
69	3344.2	2110.71	92.469	856.4496
70	3392.667	2172.333	96.548	868.8619

Tabel 4.7 Rate, Head dan Motor Load setiap Frekuensi

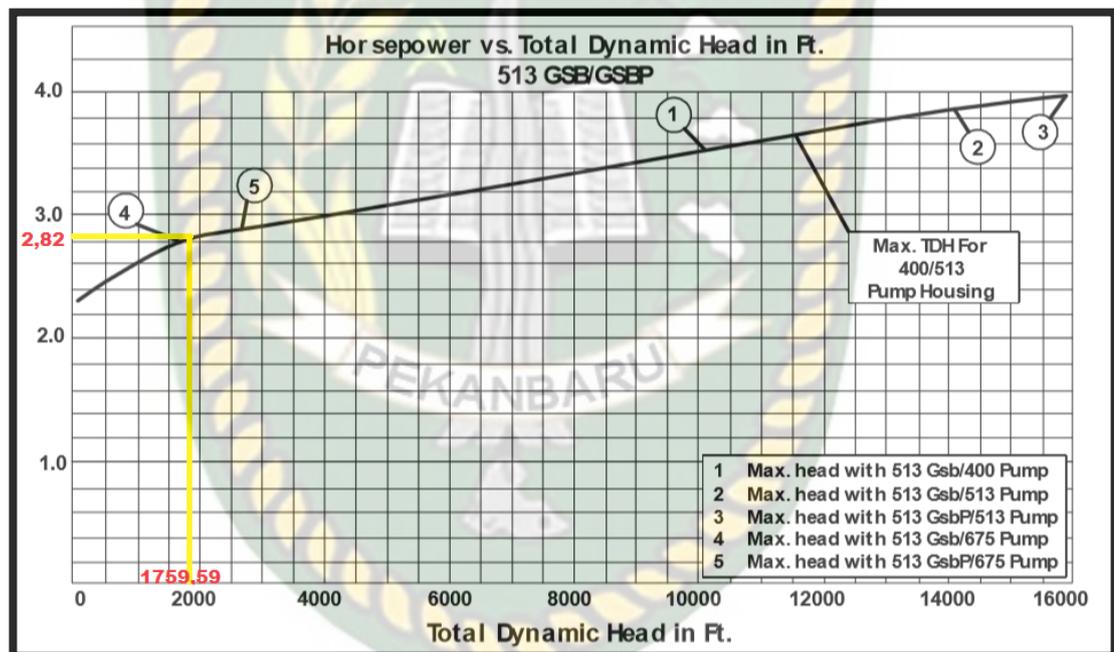
4.4.3 Evaluasi Ukuran Komponen @63 Hz

1. Pump Setting Depth (PSD)

Dalam optimasi menggunakan metode frekuensi up menggunakan VSD, Pump Setting Dept tidak dilakukan perubahan, tetap seperti PSD keadaan awal yaitu 1470 ft

2. Protector (Seal Section)

Protector yang dipilih adalah protector **Series 513**. Pada Seal Section ini membutuhkan HP sebesar 2.82 HP berdasarkan Kurva HP versus TDH 1759,59 ft @63 Hz pada **Gambar 4.4** dibawah



Gambar 4.4 Horsepower vs Total Dynamic Head

Jadi total HP yang dibutuhkan :

$$\begin{aligned}
 \text{Total HP} &= \text{Motor Load (@63 Hz)} + \text{Seal Section HP} \\
 &= 70,384 + 2,82 \\
 &= 73,204 \text{ HP}
 \end{aligned}$$

3. Jenis Motor

Jenis Motor yang terpasang adalah Series 562SP_ 75 HP 1030 Volt 45 Ampere, sehingga ampere total yang dibutuhkan :

$$\begin{aligned}
 \text{Ampere @ 73,204} &= \frac{HP \text{ total}}{HP \text{ motor}} \times \text{ampere motor} \\
 &= \frac{73.204 \text{ HP}}{75 \text{ HP}} \times 45 \text{ ampere} \\
 &= 43,92 \text{ ampere}
 \end{aligned}$$

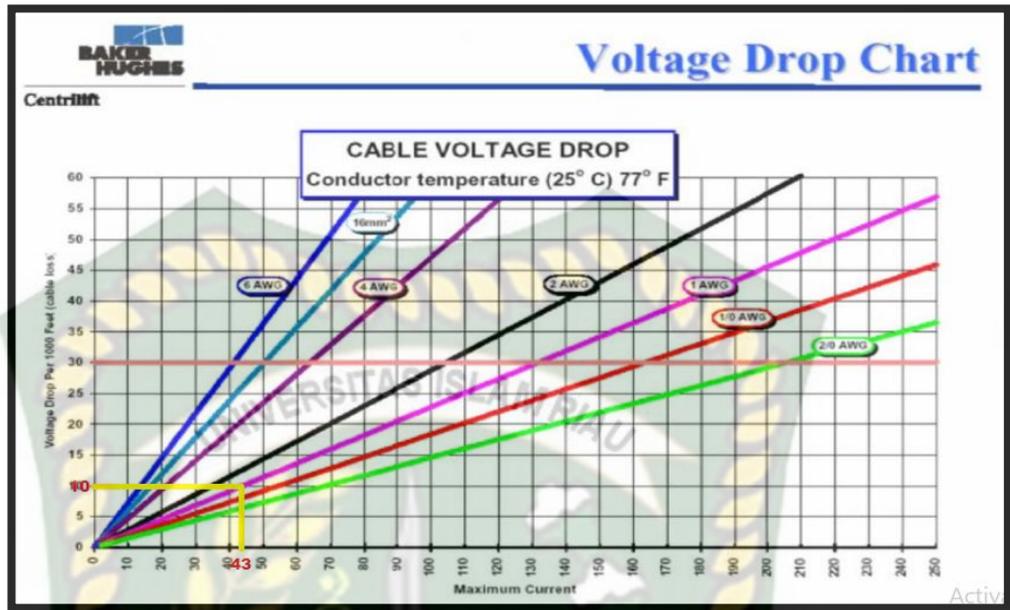
4. Kabel Listrik

Pemilihan ukuran kabel berdasarkan kemampuan dari arus pembawanya. Pilih ukuran kabel dengan *voltage drop* kurang dari 30 volt per 1000 ft. dalam kasus ini kabel yang di pilih adalah kabel #1 AWG. Motor ampere sebesar 43,92 ampere di plot pada grafik *voltage drop* pada **Gambar 4.5** maka di dapat *voltage drop* @180°f sebesar 10,135 volt/1000 ft.

Correction factor pada temperature 180 °f pada **Tabel 4.8** setelah dilakukan interpolasi didapat hasil sebesar 1,2189. *Voltage Drop* dapat di hitung sebagai berikut:

- Panjang kabel yang di butuhkan = PSD + 100 ft

$$\begin{aligned}
 &= 1470 + 100 \text{ ft} \\
 &= 1570 \text{ ft}
 \end{aligned}$$
- Volt drop =
$$\begin{aligned}
 &= \frac{\text{volt.drop @ } 180^\circ\text{f} \times \text{Panjang Kabel} \times \text{corr.factor}}{1000} \\
 &= \frac{10,135 \times 1570 \times 1,2189}{1000} \\
 &= 19,5 \text{ volt}
 \end{aligned}$$



Gambar 4.5 Cable Voltage Drop

CONDUCTOR VOLTAGE LOSS TABLE
Temperature Correction Factor @ 25° C (77° F)

Temp °F	Temp °C	Mult. Factor	Temp °F	Temp °C	Mult. Factor	Temp °F	Temp °C	Mult. Factor
50	10	0.94	221	105	1.31	392	200	1.67
59	15	0.96	230	110	1.33	401	205	1.69
68	20	0.98	239	115	1.35	410	210	1.71
77	25	1.00	248	120	1.37	419	215	1.73
86	30	1.02	257	125	1.39	428	220	1.75
95	35	1.04	266	130	1.40	437	225	1.77
104	40	1.06	275	135	1.42	446	230	1.79
113	45	1.08	284	140	1.44	455	235	1.81
122	50	1.10	293	145	1.46	464	240	1.83
131	55	1.12	302	150	1.48	473	245	1.85
140	60	1.13	311	155	1.50	482	250	1.87
149	65	1.15	320	160	1.52	491	255	1.89
158	70	1.17	329	165	1.54	500	260	1.91
167	75	1.19	338	170	1.56	509	265	1.92
176	80	1.21	347	175	1.58	518	270	1.94
185	85	1.23	356	180	1.60	527	275	1.96
194	90	1.25	365	185	1.62	536	280	1.98
203	95	1.27	374	190	1.64	545	285	2.00
212	100	1.29	383	195	1.65	554	290	2.02

Table 4.6 Conductor Voltage Loss

5. Transformer dan Variable Speed Drive

Dalam evaluasi *transformer*, harus dihitung *surface voltage* dan total KVA terlebih dahulu

- Surface Voltage = $Motor\ Voltage \times \left(\frac{Frekuensi\ Baru}{60\ Hz}\right) + Voltage\ Drop$
 $= 1030\ volt \times \frac{63\ Hz}{60\ Hz} + 19,5$
 $= 1101\ volt$
- KVA = $\frac{Surface\ Voltage \times Motor\ ampere \times 1,73}{1000}$
 $= \frac{1101 \times 45 \times 1,73}{1000}$
 $= 85,71\ KVA$

Transformer yang terpasang adalah *transformer* dengan kapasitas 100 KVA, kapasitas *transformer* ini masih lebih besar dari KVA total yang dibutuhkan yaitu 85,68 KVA sehingga masih dapat di gunakan.

Sementara itu VSD yang terpasang adalah VSD dengan kapasitas 163 KVA, kapasitas VSD ini masih lebih besar dari KVA total yang dibutuhkan yaitu 85,68 KVA sehingga masih dapat di gunakan. Sensitivity analitis hasil perhitungan manual menggunakan rumus yang sesuai ditampilkan dalam **Lampiran I**.

4.4 Optimasi menggunakan software AutographPC

Proses design ESP menggunakan software autographPC dilakukan dengan memasukan data well, pump, motor, seal, cable, dan controller. Sesuai dengan data yang kita miliki pada sumur X, kemudian dalam melakukan optimasi dengan menggunakan metode frekuensi up dalam AutographPC terdapat tool yang dapat digunakan untuk menampilkan perhitungan sensitivity analitis sumur. Sensitivity analitis hasil perhitungan software autographPC ditampilkan dalam **Lampiran II**.

4.5 Perbandingan hasil optimasi dengan real data lapangan.

Dari data sensitivity analitis kedua metode terdapat perbedaan nilai sebagai contohnya pada 63 Hz menggunakan perhitungan manual laju alir

fluida menunjukkan nilai 3053,4 BPD dan menggunakan software autographPC laju alir fluida menunjukkan nilai 3135 BPD. Sebagai pembuktian metode yang paling mendekati dalam perkiraan keadaan sumur setelah peningkatan frekuensi maka dilakukan frekuensi up pada sumur kajian ke frekuensi 63 Hz dan didapat laju alir fluida adalah sebesar 3139,92 BPD.

parameter	Perhitunga Manual	AutographPC	Hasil Dilapangan
frekuensi (Hz)	63	63	63
laju alir (BPD)	3053,4	3153	3139,92

Tabel 4.9 Perbandingan Hasil Optimasi

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

1. Evaluasi pompa ESP dilakukan dengan menggunakan data pump performance curve untuk pompa P23 kemudian memplotkan nilai head/stages sehingga didapat $Q_{teori} = 3100$ BFPD dengan $Q_{actual} = 2908$ BFPD, Efisiensi pompa = 50 %, dan Efisiensi Volumetris = 93,8 % dari data ini diketahui bahwa pompa dalam Upthrust kondisi.
2. Optimasi pompa ESP dilakukan dengan menggunakan Variable Speed Drive (VSD) pada frekuensi awal 60 Hz dengan laju produksi 2908 BFPD. Kemudian frekuensi dinaikan menjadi 63 Hz, pada perhitungan manual laju produksi yang didapat adalah 3035,4 BFPD sedangkan pada perhitungan *software* AutographPC laju produksi yang didapat adalah 3151 BFPD.
3. Setelah dilakukan optimasi menggunakan VSD dengan menaikkan frekuensi ke 63 Hz maka didapatkan hasil dengan menggunakan perhitungan manual yaitu 3035,4 BFPD dan 3153 BFPD menggunakan perhitungan AutographPC sementara itu setelah diaplikasikan ke sumur kajian menghasilkan laju alir fluida sebesar 3139,92 BFPD. Dapat ditarik kesimpulan bahwa metode paling mendekati dengan keadaan pegaplikasian dilapangan adalah dengan menggunakan perhitungan *software* AutographPC.

5.2 SARAN

Kepada peneliti berikutnya, saran yang penulis dapat berikan adalah ;

1. Pada saat melakukan optimasi pada pompa ESP agar dapat menghitung besaran pengaruh peningkatan rate dengan peningkatan watercut yang kemudian berhubungan dengan usia sumur dapat diproduksi.

DAFTAR PUSTAKA

- Andalucia, Sefilra. 2012. *Evaluasi Dan Desain Ulang Electric Submersible Pump Pada Sumur X Lapangan Y*. Teknik Geologi UPN. Yogyakarta.
- Augusto, Podio. *Artificial Lift*. Department of Petroleum and Geosystems Engineering, University of Texas at Austin, Austin, Texas, US.
- Brown, KE. 1980. *The Technology of Artificial Lift Methods. Volume 1*. The University of Tulsa, Petroleum Publishing Co. Tulsa
- Jayanti, Putri Dwi, Rachmad Sudibyo, dan Djoko Sulustiyanto. 2015. *Evaluasi dan Optimasi Pompa Electric submersible Pump (ESP) Pada Sumur-Sumur Di Lapangan X*. Seminar Nasional Cendekiawan.
- Marpaung, Christian Aditya. 2015. *Optimasi Penggunaan Electric submersible pump pada Sumur RN dan NM di Lapangan Y* .Seminar Nasional Cendekiawan.
- Maulana, Rizky. 2015. *Evaluasi, Optimasi, dan Keekonomian Elelctric Submersible Pump (ESP) untuk Sumur RA dan DR di Lapangan Z PERTAMINA HULU ENERGI OFFSHORE NORTH WEST JAVA*. Seminar Cendekiawan.
- Musnal, Ali., Rycha Melysa. 2016. *Perhitungan Analisis Sistem Nodal Untuk Menentukan Laju Alir Minyak Dengan Meningkatkan Range Efisiensi Electric Submersible Pump Pada Sumur Di lapangan Minyak PT. BOB BSP – Pertamina Hulu.*, JEEE Vol 5 No.1 *islamic University Of Riau*. 2016.
- Nahampun, Oktavia Ika. 2017. *evaluasi dan optimasi design electric submersible pump serta perbandingan menggunakan perhitungan manual dan software prosperrr pada lapangan N*. Teknik Perminyakan UIR. Riau.
- Nofriandi, Muhammad. 2013. *Instalasi electrical submersible pump (ESP) di PT. Pertamina Ubep Adera, Sumatera Selatan*. Teknik Mesin UII, Yogyakarta
- Petroleum Expert Limited manual book*, version 11. 2019. Petex House, 10 Logie Mill, Edinburgh, Scotland, UK.
- PROSPER User Manual. 2009. *Petroleum Experts*.
- Wicaksana, Satya. 2011. *Evaluasi dan Perencanaan Ulang Elektrik Submersible Pump (ESP) pada Sumur "X" Lapangan "Y"*. Yogyakarta.