

**EVALUASI *EFFISIENCY HYDRAULIC PUMPING UNIT (HPU)*  
PADA SUMUR *LOW INFLUX* LAPANGAN X**

**TUGAS AKHIR**

*Diajukan Guna Melengkapi Syarat Dalam Mencapai  
Gelar Sarjana Teknik Perminyakan  
Fakultas Teknik Universitas Islam Riau*



**ANDI ANEKO**  
**103210575**

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

**2016**

## HALAMAN PENGESAHAN

Tugas akhir ini disusun oleh :  
Nama : Andi Aneko  
NPM : 103210575  
Program Studi : Teknik Perminyakan  
Judul Skripsi : Evaluasi Efisiensi *Hydraulic Pumping Unit* (HPU)  
Pada Sumur ZB#003 Lapangan X

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 I : Ir.H.Ali Musdal,MT  
Pembimbing II : Richa Melysa,ST,MT  
Penguji : Fiki Hidayat, ST,MEng  
Penguji : Novia Rita,ST,MT  
Penguji : Novrianti,ST,MT

Ditetapkan di : Pekanbaru  
Tanggal : 29 Desember 2016

## PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini Saya menyatakan bahwa dalam Tugas Akhir ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan Saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Pekanbaru, Desember 2016

**ANDI ANEKO**  
**103210575**

## KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

*Assalamu 'alaikum Warahmatullaahi Wabarakaatuh,*

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan Rahmat dan Hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Shalawat dan salam penulis kirimkan kepada Nabi Besar Muhammad SAW, mudah-mudahan kita semua mendapat syafa'at dari beliau dihari akhir nanti.

Tugas Akhir ini berjudul ***EVALUASI EFFISIENCY HYDRAULIC PUMPING UNIT (HPU) PADA SUMUR LOW INFLUX LAPANGAN X.*** Disusun untuk memenuhi syarat guna mendapatkan gelar Sarjana pada Jurusan Teknik Perminyakan, Fakultas Teknik, Universitas Islam Riau.

Dan juga ucapan terima kasih untuk keluarga besar Teknik Perminyakan Universitas Islam Riau dan terutama pembimbing yang telah membantu penulis menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Segala usaha telah penulis lakukan dengan sebaik-baiknya, namun penulis menyadari sepenuhnya bahwa isi dari penulisan Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan dan tak luput dari kesalahan dan kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kepada semua pihak agar dapat memberikan kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan penulisan untuk masa yang akan datang.

Demikianlah Tugas Akhir ini dibuat, semoga bermanfaat bagi penulis dan pembaca.

*Wassalamu 'alaikum Warahmatullaahi Wabarakaatuh.*

Pekanbaru, Desember 20

**ANDI ANEKO**

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada:

1. Bapak Ir. H. Abd. Kudus Zaini, MT., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
2. Bapak Ir. H. Ali Musnal, MT., selaku Pembimbing I yang telah meluangkan waktunya dan sabar untuk membimbing penulis menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Ibu Richa Melysa, ST, MT., selaku Pembimbing II yang telah meluangkan waktunya dan sabar untuk membimbing penulis menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Ibu Ira Herawati, ST, MT selaku Ketua dan ibu Novrianti, ST, MT selaku sekretaris Program Studi Teknik Perminyakan Universitas Islam Riau.
5. Bapak dan Ibu Dosen, terimakasih atas ilmu yang telah diberikan di Teknik Perminyakan dan Tata usaha Fakultas Teknik, yang telah memberikan kemudahan dalam proses administrasi.
6. Ayahanda dan Ibunda tercinta, yang semasa hidupnya selalu berjuang, mendo'akan anaknya menjadi orang yang berbudi baik dan menjadi orang yang sukses, serta membesarkan anak-anaknya dan memberikan semangat, motivasi yang tak henti-hentinya kepada ananda sampai saat ini.
7. Dan Saudaraku Tersayang Wahyu Diantoro, Fitri Kurniawati dan Abdi Andari. Terima kasih atas kasih sayang, perhatian, pengertian, dukungan dan pengorbanan yang telah diberikan sehingga penulis senantiasa sabar dan ikhlas mengikuti perkuliahan di Universitas Islam Riau.
8. Bapak Edi Hermawan, Bapak Eliyas, dan Ibu Rini Novita Sari, selaku pembimbing Tugas Akhir di kantor BOB PT. BSP – Pertamina Hulu, Siak Sri Indrapura.
9. Bapak Saleh Indra, selaku Manager Production BOB PT. BSP – Pertamina Hulu, Siak Sri Indrapura.

10. Karyawan/ti BOB PT. BSP – Pertamina Hulu, Siak Sri Indrapura. yang membantu dalam pelaksanaan Tugas Akhir.
11. Teman-teman seperjuangan angkatan 2010 semua nya. Terima kasih atas dukungannya yang telah mengisi dan menghiasi cerita kehidupan semasa perkuliahan.
12. Seluruh senior dan junior Teknik Perminyakan UIR.
13. Sahabat-sahabat seperjuanganku di Kawanku BC dan Ronggolawe Nusantara.
14. Seseorang yang sangat Spesial Roiza Mersisti yang selalu mendukung dan mendoakan, Terima kasih atas kasih sayang, perhatian, pengertian, dukungan dan pengorbanan yang telah diberikan.
15. Semua pihak yang telah membantu baik secara moral maupun materil.

Pekanbaru, Desember 2016

**ANDI ANEKO**

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>i</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	<b>ii</b>
<b>PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR</b> .....	<b>iii</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>iv</b>
<b>UCAPAN TERIMA KASIH</b> .....	<b>v</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>viii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>x</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR SIMBOL</b> .....	<b>xii</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>xvii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xviii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang .....	<b>1</b>
1.2. Tujuan Penulisan .....	<b>2</b>
1.3. Batasan Masalah .....	<b>2</b>
1.4. Metodologi Penulisan .....	<b>2</b>
1.5. Sistematika Penulisan .....	<b>4</b>
<b>BAB II TINJAUAN UMUM LAPANGAN X</b> .....	<b>5</b>
2.1. Sejarah Umum Perusahaan .....	<b>5</b>
2.2. Lingkup Kerja Perusahaan .....	<b>6</b>
2.2.1. Wiayah kerja .....	<b>6</b>

2.2.2. Daerah Operasional Perusahaan.....	7
2.3. Sejarah Produksi lapangan X .....	8
2.3.1. Sejarah Produksi sumur ZRD#154.....	9
2.3.2. sejarah Produksi Sumur ZB#003 .....	10
<b>BAB III TEORI DASAR .....</b>	<b>13</b>
3.1. Produktifitas Formasi .....	13
3.2. <i>Productivity Index (PI)</i> .....	13
3.3. <i>Inflow Performance Relationship (IPR)</i> .....	15
3.3.1. IPR untuk Aliran Fluida Satu Fasa .....	15
3.3.2. IPR untuk Aliran Fluida Dua Fasa Vogel .....	16
3.4. Karakteristik Reservoir Lapangan X .....	19
3.5. <i>Hydraulic Pumping Unit (HPU)</i> .....	21
3.5.1. Prinsip Kerja HPU .....	22
3.5.2. Kelebihan dalam Penggunaan HPU .....	23
3.5.3. Kekurangan dalam Penggunaan HPU .....	24
3.5.4. Komponen Peralatan HPU .....	24
3.5.4.1. Peralatan di Atas Permukaan .....	24
3.5.4.2. Peralatan di Bawah Permukaan .....	29
3.6. Permasalahan, Analisa dan <i>Troubleshooting</i> pada HPU .....	37
3.7. Perawatan Rutin pada HPU .....	40
3.8. Efisiensi Volumetris <i>Hydraulic Pumping Unit</i> .....	41
3.8.1. Perhitungan IPR Sumur .....	42



3.8.2. Perhitungan Evaluasi Efisiensi..... 44

3.8.3. Perhitungan Optimasi *Hydraulic Pumping Unit* ..... 46

**BAB IV ANALISA DAN PENGOLAHAN DATA** ..... 50

4.1. Perhitungan Evaluasi Efisiensi Volumetris Sumur ZB#003.. 50

4.1.1. Perhitungan IPR Sumur ZB#003 ..... 52

4.1.2. Perhitungan IPR Sumur ZB#003 ..... 53

4.1.3. Perhitungan Optimasi Sumur ZB#003..... 56

4.2. Perhitungan Evaluasi Efisiensi Volumetris Sumur ZRD#154... 63

4.2.1. Perhitungan IPR Sumur ZRD#154..... 64

4.2.2. Perhitungan IPR Sumur ZRD3154..... 65

4.3. Pembahasan..... 67

**BAB V PENUTUP**..... 69

5.1. Kesimpulan ..... 69

5.2. Saran..... 70

**DAFTAR PUSTAKA**

**LAMPIRAN**

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
<b>Gambar 1.1</b> Bagan Alir Penelitian .....	3
<b>Gambar 2.1</b> Struktur Kepemilikan Badan Usaha BOB .....	6
<b>Gambar 2.2</b> <i>Production Forecsat</i> BOB .....	7
<b>Gambar 2.3</b> Wilayah Kerja BOB .....	8
<b>Gambar 2.4</b> <i>primary production</i> sumur ZRD#154.....	9
<b>Gambar 2.5</b> <i>well scematik</i> .....	10
<b>Gambar 2.6</b> <i>primary production</i> sumur ZB#003.....	11
<b>Gambar 2.7</b> <i>well scematik</i> .....	12
<b>Gambar 3.1</b> <i>Hydraulic Pumping Unit (HPU)</i> .....	21
<b>Gambar 3.2</b> Prinsip Kerja HPU .....	22
<b>Gambar 3.3</b> <i>Tubing Pump</i> dan <i>Rod Pump</i> .....	30
<b>Gambar 3.4</b> <i>Gas Anchor Poorman Type</i> .....	35
<b>Gambar 3.5</b> <i>Gas Anchor Packer Type</i> .....	36
<b>Gambar 3.6</b> <i>Gas Anchor Cup Type</i> .....	37
<b>Gambar 3.7</b> Contoh Kurva IPR .....	43
<b>Gambar 4.1</b> Kurva IPR Sumur ZB#003 .....	53
<b>Gambar 4.2</b> Kurva IPR vs $P_i$ untuk Berbagai Harga N .....	58
<b>Gambar 4.3</b> Kurva IPR vs $P_i$ untuk Berbagai Harga S .....	59
<b>Gambar 4.4</b> Kurva Hubungan Antara N dan S terhadap q .....	60
<b>Gambar 4.5</b> Hasil optimasi.....	61
<b>Gambar 4.6</b> Kurva IPR ZRD#154.....	65

## DAFTAR GRAFIK

	Halaman
<b>Grafik 3.1</b> Contoh Kurva IPR .....	43
<b>Grafik 4.1</b> Kurva IPR Sumur ZB#003 .....	54
<b>Grafik 4.2</b> Kurva IPR vs $P_i$ untuk Berbagai Harga $N$ .....	60
<b>Grafik 4.3</b> Kurva IPR vs $P_i$ untuk Berbagai Harga $S$ .....	61
<b>Grafik 4.4</b> Kurva Hubungan Antara $N$ dan $S$ terhadap $q$ .....	62
<b>Grafik 4.5</b> Hasil optimasi .....	63
<b>Grafik 4.6</b> Kurva IPR .....	68

Dokumen ini adalah Arsip Milik :

Perpustakaan Universitas Islam Riau



## DAFTAR TABEL

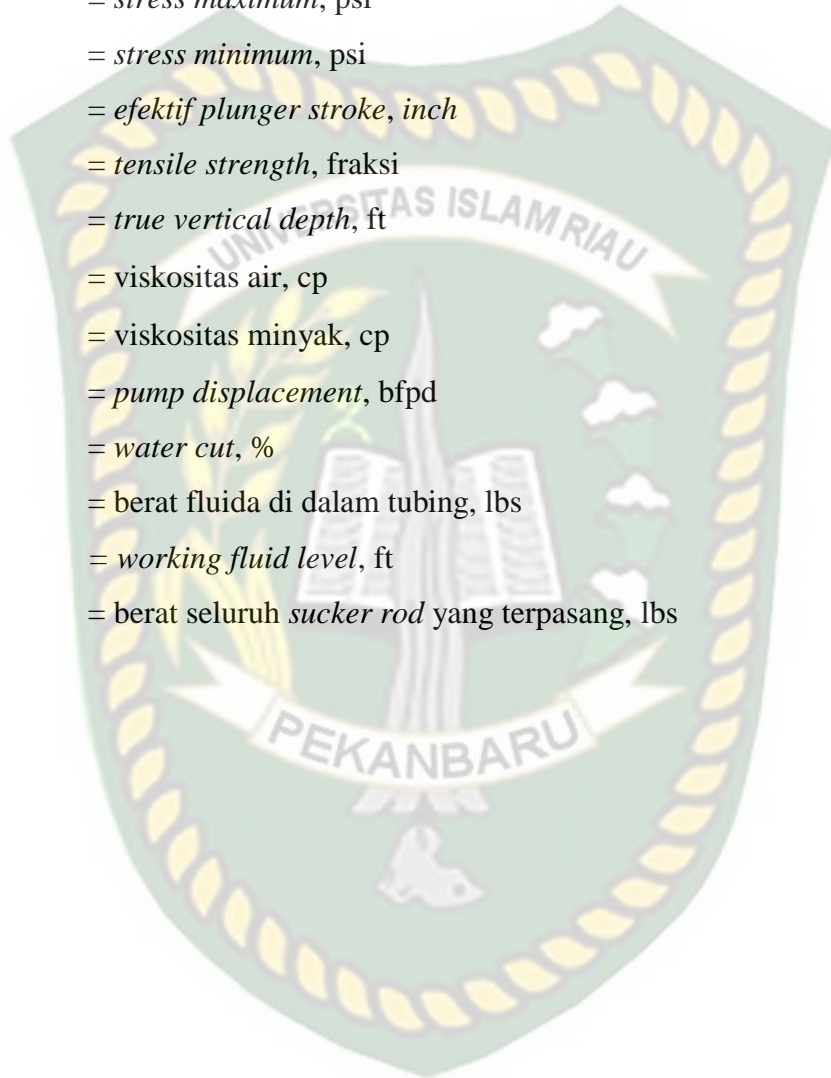
	Halaman
<b>Tabel 3.1</b> <i>Screening Criteria</i> untuk <i>Artificial Lift</i> .....	19
<b>Tabel 3.2</b> Spesifikasi <i>Sucker Rod</i> .....	30
<b>Tabel 3.3</b> Spesifikasi <i>Tubing</i> .....	32
<b>Tabel 3.4</b> Spesifikasi <i>Plunger</i> .....	33
<b>Tabel 3.5</b> Permasalahan HPU .....	37
<b>Tabel 3.6</b> Perawatan rutin HPU .....	40
<b>Tabel 3.7</b> Contoh Penentuan Laju Produksi untuk Berbagai Harga Pwf (asumsi) .....	43
<b>Tabel 4.1</b> Penentuan Laju Produksi untuk Berbagai Harga Pwf pada Sumur ZB#003 .....	53
<b>Tabel 4.2</b> <i>Intake Pressure</i> ( $P_i$ ) untuk Berbagai Harga N dan q pada Sumur ZB#003 .....	57
<b>Tabel 4.3</b> <i>Intake Pressure</i> ( $P_i$ ) untuk Berbagai Harga S dan q pada Sumur ZB#003 .....	58
<b>Tabel 4.4</b> Q untuk Setiap harga N dan Q untuk Setiap Harga S .....	59
<b>Tabel 4.5</b> Penentuan Laju Produksi untuk Berbagai Harga Pwf pada Sumur ZRD#154 .....	65

## DAFTAR SIMBOL

$\alpha$	= faktor percepatan, fraksi
a	= konstanta untuk menentukan harga N dan S, fraksi
$A_p$	= luas <i>plunger</i> , $inch^2$
$A_r$	= luas <i>top rod</i> , $inch^2$
$A_t$	= luas <i>tubing</i> , $inch^2$
b	= konstanta untuk menentukan harga N dan S, fraksi
$B_o$	= faktor volume formasi minyak, bbl/STB, fraksi
$B_w$	= faktor volume formasi air, bbl/STB
c	= konstanta untuk menentukan harga N dan S, fraksi
$D_p$	= diameter <i>plunger</i> , <i>inch</i>
dt	= <i>inside diameter tubing</i> , <i>inch</i>
dr	= diameter <i>sucker rod</i> , <i>inch</i>
DFL	= <i>dynamic fluid level</i> , ft
E	= konstanta elastisitas
ep	= <i>plunger over travel</i> , <i>inch</i>
EPT	= <i>effective plunger travel</i> , <i>inch</i>
er	= perpanjangan <i>rod string</i> , <i>inch</i>
et	= perpanjangan <i>tubing</i> , <i>inch</i>
Ev	= efisiensi volumetrik pompa, %
FL	= <i>fluid level</i> , ft
fo	= beban fluida, lb/ft.
GOR	= <i>gas oil ratio</i> , scf/stb
Gf	= <i>gradient fluida</i> , psi/ft
h	= ketebalan lapisan <i>reservoir</i> , ft
ID	= <i>inside diameter</i> , <i>inch</i>
IPR	= <i>inflow performance relationship</i>
K	= konstanta pompa, <i>inch</i>
k	= <i>permeabilitas batuan</i> , mD

$k_w$	= <i>permeabilitas</i> efektif terhadap air, mD
$k_o$	= <i>permeabilitas</i> batuan terhadap minyak, D
$k_g$	= <i>permeabilitas</i> batuan terhadap gas, mD
$L$	= panjang 1 <i>joint sucker rod</i> = 25,065 ft
$L$	= <i>pump setting depth</i> , ft
$L_{opt}$	= <i>pump setting depth optimum</i> , ft
$M$	= berat <i>sucker rod</i> , lb/ft
$MPRL$	= <i>minimum polished rod load</i> , lb
$MPT$	= <i>maximum plunger travel</i> , inch
$N$	= kecepatan pompa ( <i>stroke per minute</i> ), SPM
$O_c$	= <i>oil cut</i> , %
$OD$	= <i>outside diameter</i> , inch
$P_b$	= tekanan <i>bubble point</i> , psi
$P_i$	= <i>intake pressure</i> , psi
$PI$	= indeks produktivitas
$PIP$	= <i>pump intake pressure</i> , psi
$PPRL$	= <i>peak polished rod load</i> , lb
$P_s$	= <i>tekanan statis reservoir</i> , psi
$P_{wf}$	= tekanan alir dasar sumur, psi
$q_o$	= laju produksi minyak, bopd
$q_w$	= laju produksi air, bwpd
$Q$	= laju alir fluida produksi, bpd
$Q_{max}$	= laju produksi maksimum dari suatu sumur, bfpd
$Q_{omax}$	= laju produksi minyak maksimum, bopd
$Q_t$	= laju produksi total, bfpd
$r_e$	= jari-jari pengurasan, ft
$r_w$	= jari-jari sumur, ft
$S$	= panjang langkah ( <i>stroke length</i> ), in
$S_A$	= <i>stress allowable</i> , psi
$SF$	= <i>service factor</i> , fraksi
$SFL$	= <i>static fluid level</i> , ft

$SG_{oil}$	= <i>specific gravity</i> minyak, fraksi
$SG_{water}$	= <i>specific gravity</i> air, fraksi
$SG_{fluida}$	= <i>specific gravity fluida</i> , fraksi
$S_{max}$	= <i>stress maximum</i> , psi
$S_{min}$	= <i>stress minimum</i> , psi
$Sp$	= <i>efektif plunger stroke</i> , inch
$T$	= <i>tensile strength</i> , fraksi
$TVD$	= <i>true vertical depth</i> , ft
$\mu_w$	= viskositas air, cp
$\mu_o$	= viskositas minyak, cp
$V$	= <i>pump displacement</i> , bfpd
$WC$	= <i>water cut</i> , %
$W_f$	= berat fluida di dalam tubing, lbs
$WFL$	= <i>working fluid level</i> , ft
$W_r$	= berat seluruh <i>sucker rod</i> yang terpasang, lbs



Dokumen ini adalah Arsip Milik :

Perpustakaan Universitas Islam Riau

# EVALUASI EFISIENSI *HYDRAULIC PUMPING UNIT* (HPU) PADA SUMUR ZB#003 LAPANGAN X

ANDI ANEKO

103210575

## ABSTRAK

Evaluasi efisiensi volumetrik dimaksudkan untuk mengontrol produksi sumur pada suatu lapangan untuk mengetahui penyebab penurunan produksi. Penurunan tekanan dan adanya permasalahan pada sumur dapat menyebabkan rendahnya efisiensi volumetrik pompa yang mengakibatkan penurunan laju produksi. Dengan demikian perlu dilakukan perubahan kondisi operasi pompa untuk peningkatan laju produksi.

Kemampuan suatu sumur untuk berproduksi bisa diketahui dengan melakukan perhitungan produktifitas sumur dengan menggunakan kurva IPR berdasarkan data aktual di lapangan. Optimasi dapat dilakukan dengan metode Analisa Nodal (*Pump Intake Curve*). Dengan merubah *Stroke Length* (S) dan *Stroke Per Minute* (N). Saat ini sumur ZB#003 menggunakan *Hydraulic Pumping Unit* untuk memproduksi minyak dari reservoir kepermukaan.

Hasil evaluasi efisiensi volumetrik (Ev) pompa terpasang dari sumur ZB#003 yaitu 56 % dan sumur ZRD#154 yaitu 86 %. Hasil evaluasi kemampuan sumur berdasarkan kurva IPR dari sumur-sumur tersebut didapatkan  $Q_{max}$  dari masing-masing sumur, yaitu : ZB#003 = 91,94 BFPD dan ZRD#154 = 264,15 BFPD. Setelah dilakukan optimasi pada sumur ZB#003, didapatkan kenaikan laju produksi ( $Q_t$ ) dari 60 BFPD menjadi 75 BFPD, efisiensi volumetrik (Ev) naik dari 56 % menjadi 117 %. Pada sumur ZRD#154, tidak perlu dilakukan optimasi karena kemampuan pompa masih sangat baik yaitu 86 % dengan laju produksi 215 BFPD.

**Kata Kunci:** *Hydraulic Pumping Unit*, IPR,  $Q_{max}$ , evaluasi, optimasi, *pump intake curve*.



## EVALUATION OF HYDRAULIC PUMPING UNIT (HPU) EFFICIENCY AT WELL ZB#003 FIELD X

ANDI ANEKO

103210575

### ABSTRACT

Evaluation of volumetric efficiency is intended to control the production of wells in a field to determine the cause of production decline. The decrease in pressure and the presence of problems in the well can cause low volumetric efficiency of the pump which results in a decrease in production rate. Thus, it is necessary to change the operating conditions of the pump to increase the production rate.

The ability of a well to produce can be determined by calculating the productivity of the well using the IPR curve based on actual data in the field. Optimization can be done by using Nodal Analysis (Pump Intake Curve) method. By changing the Stroke Length (S) and Stroke Per Minute (N). Currently the ZB#003 well uses a Hydraulic Pumping Unit to produce oil from the surface reservoir.

The results of the evaluation of the volumetric efficiency ( $E_v$ ) of the installed pump from well ZB#003 is 56% and well ZRD#154 is 86%. The results of the evaluation of the ability of the wells based on the IPR curve of the wells obtained  $Q_{max}$  from each well, namely: ZB#003 = 91.94 BFPD and ZRD#154 = 264.15 BFPD. After optimization on well ZB#003, the production rate ( $Q_t$ ) increased from 60 BFPD to 75 BFPD, volumetric efficiency ( $E_v$ ) increased from 56% to 117%. In the ZRD#154 well, there is no need for optimization because the pump ability is still very good, namely 86% with a production rate of 215 BFPD.

Keywords: Hydraulic Pumping Unit, IPR,  $Q_{max}$ , evaluation, optimization, pump intake curve

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Tekanan reservoir sumur ZB#003 telah mengalami penurunan dari sekitar 900 psi menjadi 295 psi. Hal ini membuat tekanan alir turun menjadi 161 psi. Turunnya tekanan alir di sumur ZB#003 disebabkan karena turunnya tekanan reservoir seperti yang dikemukakan di atas dan beberapa sumur sudah memproduksi air, sehingga gradien di dalam tubing menjadi lebih besar/berat.

Atas dasar tersebut *artificial lift* memang sudah diperlukan untuk membantu memproduksi minyak di lapangan X. Pemilihan metode *artificial lift* yang tepat sangat diperlukan untuk memperoleh produksi minyak yang optimum. Laju produksi sumur ZB#003 yaitu 60 BFPD, dengan wc 33%, produksi minyak sebesar 40 BOPD dan air 20 BWPD. Sehingga perlu dilakukan evaluasi untuk meningkatkan laju produksi.

Saat ini lapangan X menggunakan *Hydraulic Pumping Unit* untuk memproduksi minyak dari reservoir permukaan. Metode ini dianggap tepat karena penggunaan metode lain memiliki batasan-batasan tertentu dalam pengoperasiannya, khususnya di lapangan X.

Dasar pemikirannya adalah karena HPU dapat dioperasikan pada SPM (*Stroke Per Minute*) yang rendah. SPM rendah diperlukan agar umur pemakaian *sucker rod* lebih panjang. Disamping itu, HPU juga mempunyai fleksibilitas yang lebih tinggi terhadap perubahan *Stroke Length* (SL) dan *Stroke Per Minute* (SPM).

Dalam pengoperasian HPU di lapangan X, seringkali ditemukan permasalahan tidak sesuai laju produksi yang diinginkan (secara teoritis) dengan laju produksi yang sebenarnya (efisiensi volumetrik pompa rendah), sehingga diperlukan suatu evaluasi terhadap kinerja HPU tersebut.

## 1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian Tugas Akhir ini yang sesuai dengan judul Evaluasi Efisiensi *Hydraulic Pumping Unit* (HPU) pada sumur ZB#003 lapangan X, yaitu:

1. Menghitung efisiensi volumetrik pompa HPU.
2. Mengevaluasi kemampuan laju alir maksimum berdasarkan kurva IPR dan Melakukan kajian terhadap pompa HPU.
3. Menghitung optimasi pompa HPU pada sumur ZB#003 lapangan X.

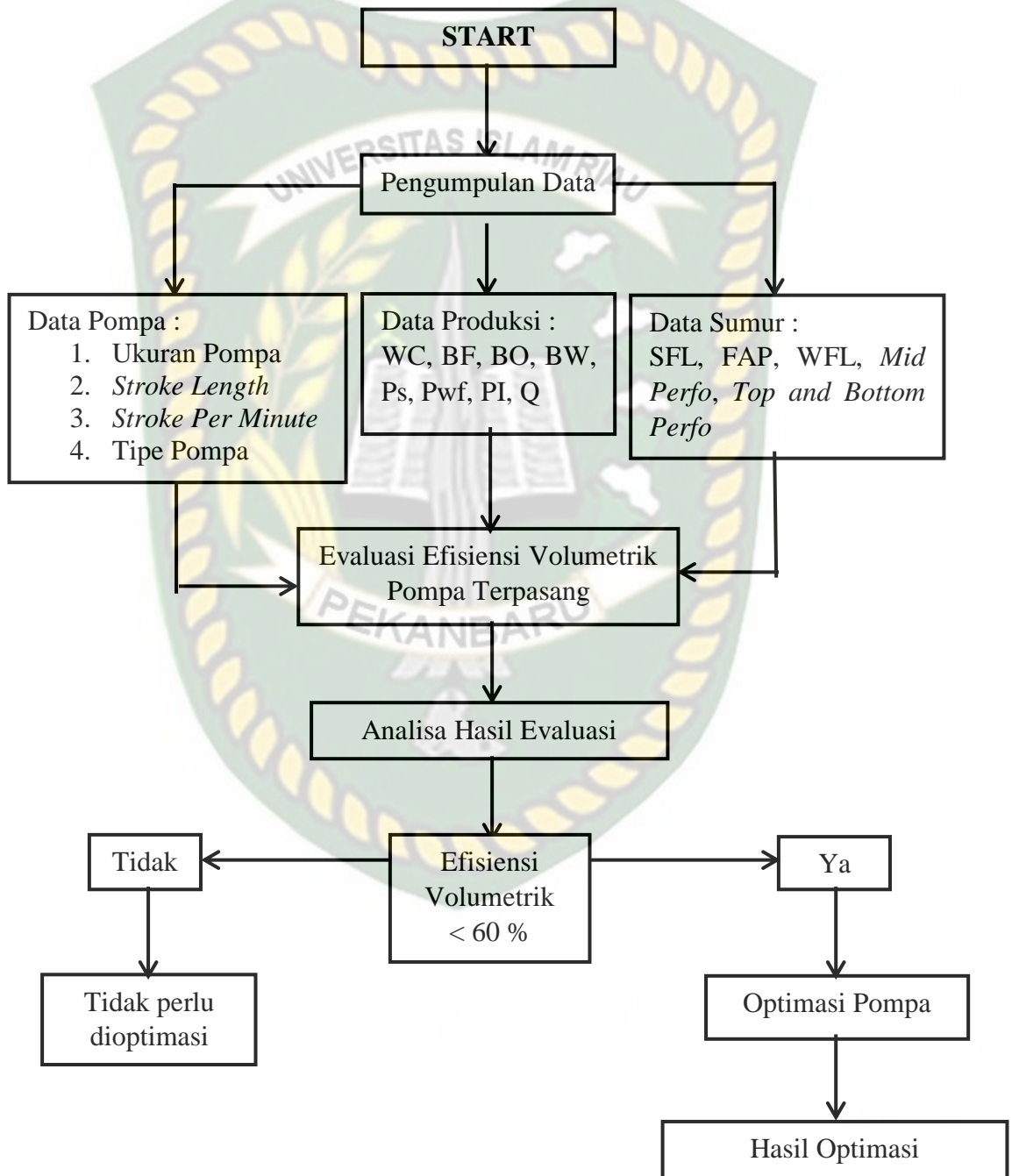
## 1.3. Batasan Masalah

Agar penelitian Tugas Akhir ini tidak menyimpang dari pokok permasalahan yang dibahas, maka dalam penelitiannya hanya dibatasi tentang evaluasi efisiensi dan optimasi *Hydraulic Pumping Unit* (HPU) agar didapatkan kinerja pompa yang efisien. Optimasi yang dilakukan yaitu dengan merubah *Stroke length* (S) dan *Strokre Per Minute* (N) dimana pemilihan nilai N dibatasi mulai dari N=2 sampai N=9 dan nilai S dibatasi dari S=20 sampai S=100.

## 1.4. Metodologi Penelitian

Dalam Tugas Akhir ini, peneliti melakukan beberapa tahap untuk mendukung keberhasilan peneliti membuat Tugas Akhir ini, yaitu : pengumpulan data-data lapangan, evaluasi pompa terpasang (HPU), analisa hasil evaluasi, perhitungan optimasi, kemudian dievaluasi lagi sehingga didapatkan kinerja pompa yang sesuai.

Adapun diagram alur dari metode penelitian ini sebagai berikut :



## Gambar 1.1. Bagan Alir Penelitian

### 1.5. Sistematika Penulisan

Dalam penulisan Tugas Akhir ini, menggunakan sistematika penulisan yang terdiri dari beberapa bab, yaitu:

**BAB I : Pendahuluan**

Mengenai latar belakang, tujuan penulisan, batasan masalah, metode penulisan dan sistematika penulisan.

**BAB II : Tinjauan Umum Lapangan**

Menjelaskan tentang sejarah produksi lapangan X dan sejarah produksi sumur ZB#003 dan ZRD#154.

**BAB III : Teori Dasar**

Menjelaskan teori dasar mengenai *Hydraulic Pumping Unit* (HPU).

**BAB IV : Analisa Dan Pengolahan Data**

Berisikan tentang perhitungan efisiensi volumetris, perhitungan IPR sumur, optimasi pompa HPU dan pembahasan hasil dari evaluasi dan optimasi yang diperoleh dari hasil perhitungan.

**BAB V : Kesimpulan dan Saran**

Berisi tentang inti dari keseluruhan bab yang ditampilkan dalam penelitian yang berkaitan erat dengan tujuan penelitian, serta berisi saran untuk penulis selanjutnya yang juga membahas tentang *Hydraulic Pumping Unit* (HPU).

## BAB II

### TINJAUAN UMUM LAPANGAN

#### 2.1. Sejarah Produksi Lapangan X

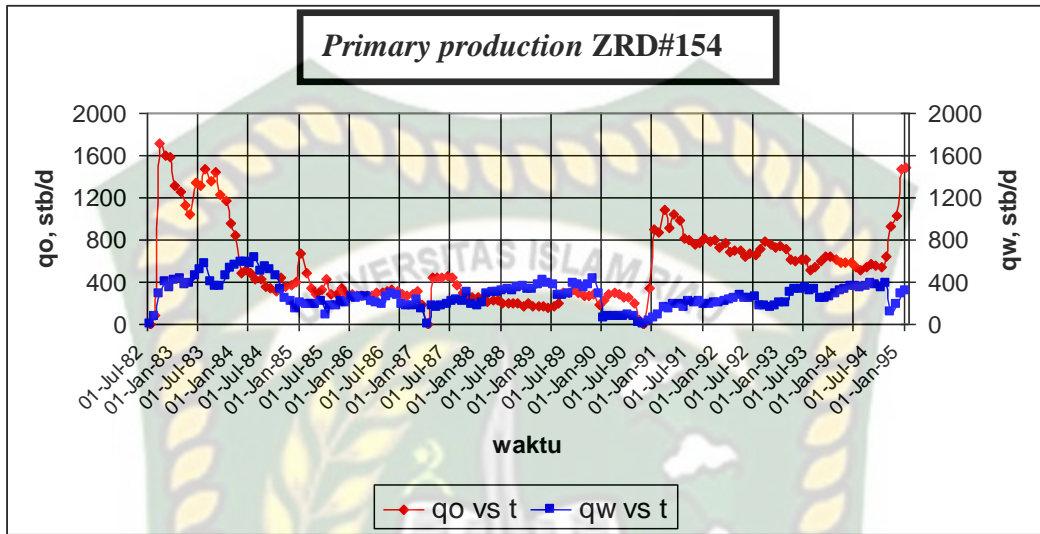
Lapangan X ditemukan pada bulan September 1975 dan mulai diproduksi secara komersial pada bulan Maret 1982. Produksi minyak tertinggi yang diperoleh terjadi pada tahun 1983 yaitu sebesar 40.000 BOPD. Produksi tersebut kemudian menurun menjadi 13.500 BOPD pada April 1993, sebelum suatu kombinasi *peripheral water injection* dan *pattern water injection* dilakukan pada tahun 1993. Jumlah produksi minyak sebelum pelaksanaan *pattern waterflood* pada 30 November 1993, sebanyak 95.8 MMSTB, dengan jumlah produksi air 74.1 MMB.

Cadangan mula-mula (*Original Oil In Place*) pada lapangan X diperkirakan 670.2 MMSTB, kira-kira 76 % minyak berada dalam reservoir 2830 Sand dan 2900 Sand. Tekanan awal reservoirnya adalah 1300 psig pada kedalaman 3090 kaki (feet) di bawah laut, sedangkan reservoirnya bertemperatur 222°F. Gravitasi minyak mentah rata-rata di lapangan X adalah 40° API dengan perbandingan awal larutan gas minyak 38 SCF/STB dan tekanan *bubble point* 271 Psia.

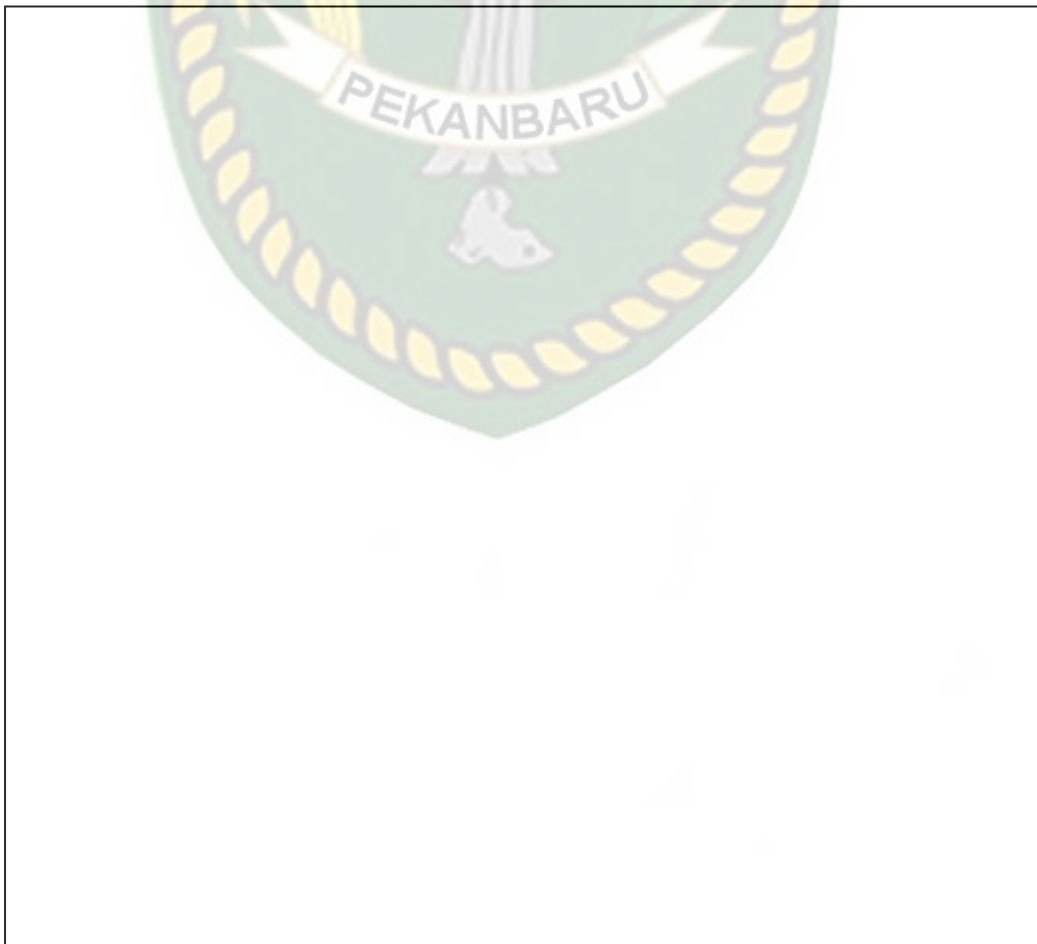
##### 2.1.1. Sejarah Produksi Sumur ZRD#154

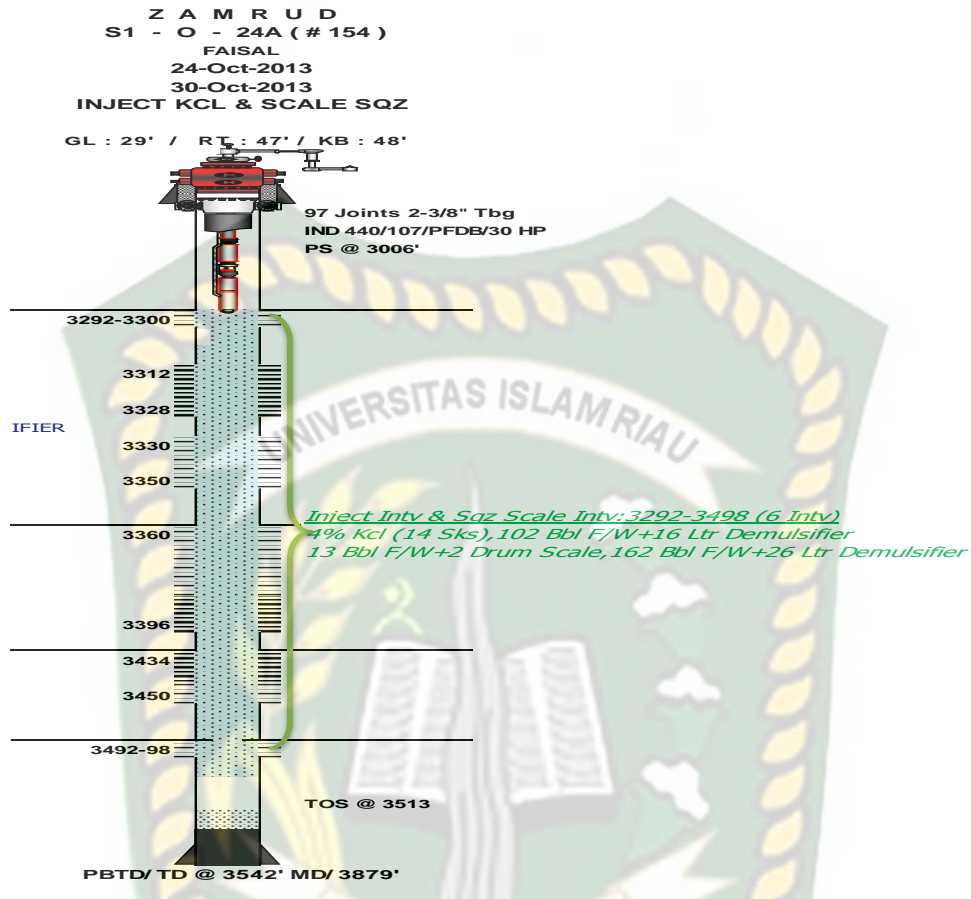
Sumur ZRD#154 mulai pertama kali memproduksi pada bulan Agustus 1982. Produksi sumur ZRD#154 berasal dari lapisan Formasi 2830 Sand dan 2900 Sand. Berdasarkan korelasi yang telah dilakukan (*logging* dan *data core*), sumur ZRD#154 dibagi menjadi 3 layer pada lapisan formasi 2830 Sand. Pembagian ini berdasarkan parameter porositas dan distribusi permeabilitasnya. Pada bulan Februari 1995 dilakukan *water flood* pada sumur ini menggunakan pola *inverted five-spot*. Kumulatif produksi tahap primer sumur ZRD#154 sebesar 2,528

MMSTB. Gambar 2.4. menunjukkan perilaku sumur produksi ZRD#154 pada tahap *primary*.



Gambar 2.1. Primary Production Sumur ZRD#154



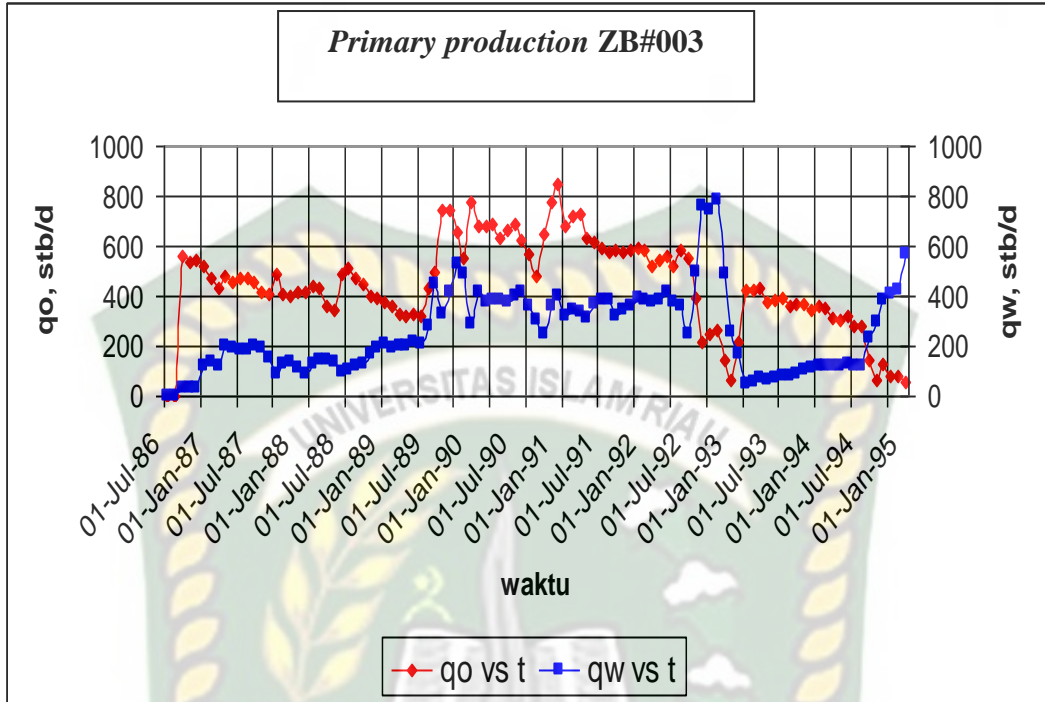


**Gambar 2.2. Well schematic sumur ZRD#154**

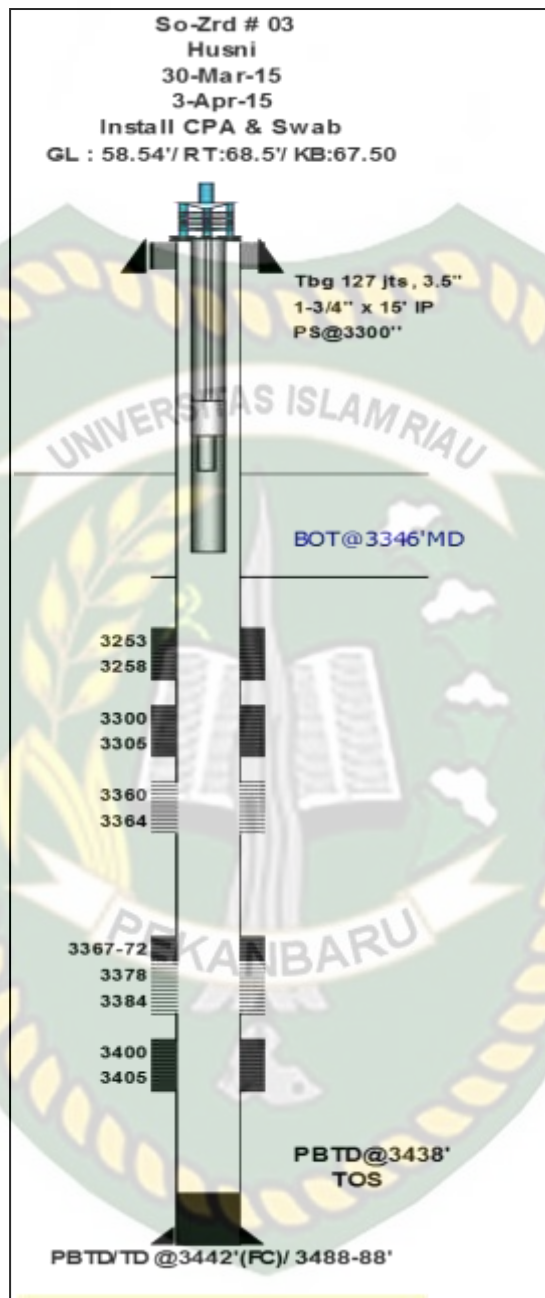
### 2.1.2. Sejarah Produksi Sumur ZB#003

Sumur ZB#003 mulai pertama kali berproduksi pada bulan September 1986. Produksi sumur ZB#003 berasal dari lapisan Formasi 2830 Sand, 2900 Sand dan 2970 Sand. Berdasarkan korelasi yang telah dilakukan (*logging* dan data *core*), sumur ZB#003 dibagi menjadi 2 layer pada lapisan Formasi 2830 Sand. Pada bulan Februari 1995 dilakukan *water flood* pada sumur ini menggunakan pola *inverted five-spot*. Kumulatif produksi tahap primer sumur ZB#003 sebesar 1,399 MMSTB. Gambar 2.6. menunjukkan perilaku sumur produksi ZB#003 pada tahap *primary*.





Gambar 2.3. Primary Production Sumur ZB#003



Gambar 2.4. Well schematic sumur ZB#003

## BAB III TEORI DASAR

### 3.1. Produktifitas Formasi

Produktifitas formasi merupakan kemampuan formasi untuk memproduksi fluida yang terkandung dalam suatu reservoir pada tekanan tertentu, yang biasanya dinyatakan dengan *Productivity Index* (PI). Kemampuan ini digambarkan secara grafis dan disebut dengan kurva *Inflow Performance Relationship* (IPR). Dalam menentukan harga *Productivity Index* dan pembuatan kurva IPR berdasarkan fasa fluidanya dapat dibagi menjadi menjadi dua fasa, yaitu:

1. IPR untuk aliran fluida satu fasa
2. IPR untuk aliran fluida dua fasa

### 3.2. *Productivity Index* (PI)

*Productivity Index* (PI) secara umum didefinisikan sebagai perbandingan laju produksi yang dihasilkan oleh suatu sumur pada suatu harga tekanan aliran dasar sumur tertentu dengan perbedaan tekanan dasar sumur pada keadaan statis ( $P_s$ ) dan tekanan dasar sumur pada saat terjadi aliran ( $P_{wf}$ ) yang secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut:

$$PI = J = \frac{q}{(P_s - P_{wf})} \dots\dots\dots (3.1)$$

di mana:

- PI = J = *Productivity Index*, bbl/day/psi
- Q = Laju Produksi Aliran Total, bbl/day
- Ps = Tekanan Statis Reservoir, Psi
- Pwf = Tekanan Dasar Sumur saat terdapat Aliran, Psi

Secara teoritis persamaan (3.1) dapat didekati oleh persamaan radial dari Darcy untuk fluida *homogen, incompressible* dan *horizontal*. Dengan demikian, untuk aliran minyak saja berlaku hubungan pada persamaan (3.2).

$$PI = \frac{7,082 \times 10^{-3} \times k \times h}{Bo \times \mu_o \times \ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right)} \dots\dots\dots (3.2)$$

Sementara itu, untuk aliran minyak dan air berlaku persamaan:

$$PI = \frac{7,082 \times 10^{-3} \times h}{\ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right)} \left( \frac{k_o}{\mu_o Bo} + \frac{k_w}{\mu_w B_w} \right) \dots\dots\dots (3.3)$$

di mana:

- PI = *productivity index*, bbl/day/psi
- k = permeabilitas batuan, mD
- k<sub>w</sub> = permeabilitas efektif terhadap air, mD
- k<sub>o</sub> = permeabilitas efektif terhadap minyak, mD
- μ<sub>o</sub> = viskositas minyak, cp
- μ<sub>w</sub> = viskositas air, cp
- Bo = faktor volume formasi minyak, bbl/STB
- B<sub>w</sub> = faktor volume formasi air, bbl/STB
- r<sub>e</sub> = jari-jari pengurasan sumur, ft
- r<sub>w</sub> = jari-jari sumur, ft

Pada beberapa sumur harga *productivity index* akan tetap konstan untuk laju aliran yang bervariasi, tetapi pada sumur lainnya untuk laju aliran yang lebih besar *productivity index* tidak lagi berbentuk *linear* tetapi justru menurun, hal tersebut disebabkan karena timbulnya aliran turbulensi sebagai akibat bertambahnya laju produksi, berkurangnya laju produksi, berkurangnya permeabilitas terhadap minyak oleh karena terbentuknya gas bebas sebagai akibat turunnya tekanan pada lubang bor, kemudian dengan turunnya tekanan di bawah tekanan jenuh maka viskositas akan bertambah (sebagai akibat terbebasnya gas dari larutan) dan atau berkurangnya permeabilitas akibat adanya kompresibilitas batuan.

Dalam praktek di lapangan, laju produksi minyak yang melewati batas maksimum akan merugikan reservoir dikemudian hari, karena akan mengakibatkan terjadinya *water* atau *gas coning* dan kerusakan formasi (*formation damage*).

### 3.3. Inflow Performance Relationship (IPR)

Inflow Performance Relationship (IPR) merupakan pernyataan PI secara grafis yang menggambarkan perubahan-perubahan dari harga tekanan alir dasar sumur ( $P_{wf}$ ) versus laju alir ( $Q$ ) yang dihasilkan karena terjadinya perubahan tekanan alir dasar sumur tersebut.

#### 3.3.1 IPR untuk Aliran Fluida Satu Fasa

Aliran fluida dalam media berpori telah dikemukakan oleh Darcy (1856) dalam persamaan:

$$v = \frac{q}{A} = -\frac{k}{\mu} \frac{dP}{dL} \dots\dots\dots (3.4)$$

Persamaan tersebut mencakup beberapa anggapan, diantaranya adalah:

1. Aliran mantap (*steady state*)
2. Fluida yang mengalir satu fasa
3. Tidak terjadi reaksi antara batuan dengan fluidanya.
4. Fluida bersifat *incompressible*.
5. Viskositas fluida yang mengalir konstan.
6. Kondisi aliran *isothermal*.
7. Formasi homogen dan arah aliran horizontal.

Persamaan di atas selanjutnya dikembangkan untuk kondisi aliran radial, di mana dalam satuan lapangan persamaan tersebut berbentuk:

$$q = \frac{0,007082 \times k \times h \times (P_s - P_{wf})}{\mu_o B_o \ln(r_e - r_w)} \dots\dots\dots (3.5)$$

Keterangan:

- Q = Laju Produksi, STB/D
- k = Permeabilitas efektif minyak, mD
- h = Ketebalan formasi produktif, ft
- Pr = Tekanan formasi pada jarak  $r_e$  dari sumur, Psi
- $P_{wf}$  = Tekanan alir dasar sumur, Psi
- $\mu_o$  = Viskositas minyak, cp
- $B_o$  = Faktor volume formasi minyak, bbl/stb

$r_e$  = Jari-jari pengurasan sumur, ft

$r_w$  = Jari-jari sumur, ft

Persyaratan yang harus dipenuhi untuk menggunakan persamaan di atas adalah:

1. Fluida berfasa tunggal
2. Aliran mantap (*steady state*)
3. Formasi homogen, horizontal
4. Fluida *incompressible*

Dengan demikian, apabila variabel dari Persamaan (3.5) diketahui, maka laju produksi (potensi) sumur dapat ditentukan.

### 3.3.2 IPR untuk Aliran Dua Fasa Vogel

Pembuatan grafik IPR untuk aliran dua fasa pada mulanya dikembangkan oleh Weller, di mana Weller menurunkan persamaan J untuk reservoir gas terlarut sebagai berikut:

$$J = \frac{7 \times 10^{-3} \times k \times h \times (r_e^2 - r_w^2) \int_{P_w}^{P_e} \frac{k_{ro} dP}{\mu_o B_o}}{\left\{ r_e^2 \ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right) - 0,5(r_e^2 - r_w^2) \right\} (P_e - P_w)} \dots \dots \dots (3.6)$$

Di dalam penurunan persamaan (3.6) tersebut, dilakukan beberapa anggapan sebagai berikut:

1. Bentuk reservoir adalah lingkaran dan terbatas (*Bounded Reservoir*) dan sumur berada tepat di tengah lingkaran.
2. Media berpori *uniform* dan isotropis serta harga  $S_w$  konstan disetiap titik.
3. Pengaruh gradien tekanan diabaikan.
4. Komposisi minyak dan gas konstan.
5. Tekanan pada fasa minyak dan gas sama.
6. Kondisi semi *steady state* di mana laju desaturasi minyak sama disetiap titik pada saat tertentu.

Mula-mula ditentukan terlebih dahulu perubahan saturasi terhadap tekanan yang dapat ditentukan dengan persamaan:

$$\frac{d\left(\frac{S_o}{B_o}\right)}{dP} = \frac{\left(\frac{S_o}{B_o}\right)\left\{\frac{B_g}{5,615B_o} \frac{dR_s}{dP} - \frac{1}{B_o} \frac{dB_o}{dP}\right\} + \left\{\frac{1-S_w}{B_o} - \frac{S_o}{B_o}\right\} B_g \left(\frac{d\left(\frac{1}{B_o}\right)}{dP}\right)}{1 + \frac{k_g \mu_o}{k_o \mu_g}} \dots\dots\dots (3.7)$$

dari persamaan (3.7) tersebut dapat ditentukan  $dS_o/dP$  dengan berdasarkan hal ini, perubahan tekanan dapat ditentukan dengan persamaan:

$$\frac{dk_{ro}}{dP} = \left(\frac{dk_{ro}}{dS_o}\right) \left(\frac{dS_o}{dP}\right) \dots\dots\dots (3.8)$$

Melihat persamaan yang digunakan serta cara pemecahannya, ternyata cara Weller tersebut cukup rumit dan tidak praktis serta memerlukan komputer. Selanjutnya, Vogel mengemukakan suatu cara yang lebih sederhana dibandingkan dengan metode Weller. Dasar pengembangan metode Vogel adalah persamaan Weller, yang menghasilkan suatu bentuk persamaan sebagai berikut:

$$\frac{q}{q_{max}} = 1 - 0,2 \left(\frac{P_{wf}}{P_s}\right) - 0,8 \left(\frac{P_{wf}}{P_s}\right)^2 \dots\dots\dots (3.9)$$

Atau

$$P_{wf} = 0,125 P_s \left[ \sqrt{81 - 80 \left(\frac{q}{q_{max}}\right) - 1} \right] \dots\dots\dots (3.10)$$

Persamaan Vogel dapat digunakan pada kondisi di mana reservoir memiliki tenaga pendorong *saturated dissolve gas drive reservoir* atau pada reservoir dengan saturasi gas meningkat dengan menurunnya tekanan reservoir.

Ada 3 kasus pada persamaan Vogel yang dapat dikembangkan, yaitu:

3.4. *Static Pressure* ( $P_s$ ) dan *Test Pressure* ( $P_{wf}$ ) berada di atas tekanan *Bubble Point* ( $P_b$ ).

PI dari sumur dapat dihitung dengan persamaan (3.1) dan besarnya *liquid rate* pada saat  $P_{wf}$  pada  $P_b$ :

$$q_b = PI (P_s - P_b) \dots\dots\dots (3.11)$$

*Maximum Oil Rate* ketika memproduksi 100% oil dapat dihitung dengan persamaan:

$$Q_o \max = q_b + \frac{PI \cdot P_b}{1,8} \dots\dots\dots (3.12)$$

Slope dari composite IPR dua fasa dapat dihitung dengan:

$$\text{Slope} = \frac{f_w \frac{0,001 \times q_o \max}{PI} + 0,125 f_o P_b \left( -1 + \sqrt{81 - \frac{80(0,999 q_o \max - q_b)}{q_o \max - Q_b}} \right)}{0,001 \times q_o \max} \dots\dots\dots(3.13)$$

3.5. *Static Pressure* (Ps) di atas Pb dan Pwf berada di bawah Pb.

PI *initial* dapat dihitung dengan persamaan:

$$PI_{\text{initial}} = \frac{q_{\text{test}}}{f_o \left\{ P_s - P_b + \frac{P_b \left[ 1 - 0,2 \left( \frac{P_{\text{wf}}}{P_s} \right) - 0,8 \left( \frac{P_{\text{wf}}}{P_s} \right)^2 \right]}{1,8} \right\} + f_w (P_s - P_{\text{wf}})} \dots\dots\dots (3.14)$$

3.6. *Static Pressure* (Ps) dan (Pwf) berada di bawah tekanan *Bubble Point* (Pb)

PI *initial* dapat dihitung dengan persamaan:

$$P_{\text{initial}} = \frac{q_{\text{test}}}{f_o \left\{ \frac{P_s \left[ 1 - 0,2 \left( \frac{P_{\text{wf}}}{P_s} \right) - 0,8 \left( \frac{P_{\text{wf}}}{P_s} \right)^2 \right]}{1,8} \right\} + f_w (P_s - P_{\text{wf}})} \dots\dots\dots (3.15)$$

**3.4 Karakteristik Reservoir Lapangan X**

Lapangan X PT. BOB Pertamina HULU mempunyai karakteristik reservoir sebagai berikut:

1. PI kecil (<0.3)
2. Tekanan *Reservoir* (Ps) = 300-600 Psi
3. *Viskositas* < 0,45 cp
4. Produktifitas Sumur atau Laju Produksi < 1000 Bpd
5. Minyak mengandung *Aromatic*
6. GOR 250 SCF/STB
7. Kedalaman sumur < 14000 ft
8. °API minyak 39-43



Berdasarkan karakteristik reservoir tersebut, didapatkan pengangkatan buatan tipe *Hydraulic Pumping Unit* (HPU) sebagai pengangkatan buatan yang paling tepat untuk diaplikasikan di Lapangan X.

**Tabel 3.1.** *Screening Criteria* untuk *Artificial Lift* <sup>1)</sup>

KARAKTERISTIK RESERVOIR	METODE PRODUKSI ARTIFICIAL LIFT					
	GAS LIFT		BEAM PUMP/HPU	ESP	PCP	HJP
	CONTINUOUS	INTERMITTENT				
GOR	Tinggi > 2000 SCF/STB	Rendah < 2000 SCF/STB	< 2000 SCF/STB	500-2000 SCF/STB	500-2000 SCF/STB	500-2000 SCF/STB
Temperatur	< 350 °F	< 350 °F	< 350 °F	< 250 °F	Max 200 °F	< 350 °F
Produktivitas Sumur	>10000 B/D	> 10000 B/D	< 1000 B/D	> 10000 B/D	1000-10000 B/D	< 10000 B/D
Viskositas	Bisa mencapai 1000 cp	Bisa mencapai 1000 cp	< 200 cp	< 200 cp	> 500 cp	> 500 cp
Water Cut	Bisa untuk <i>water cut</i> tinggi	Bisa untuk <i>water cut</i> tinggi	Rendah	Bisa untuk <i>water cut</i> tinggi	Rendah	Rendah
Kedalaman Sumur	> 14000 ft	> 14000 ft	Dangkal	> 14000 ft	Max 6550 ft	≤ 18000 ft
Kandungan Pasir	Tinggi	Tinggi	Rendah	Rendah	Rendah	Rendah

Konstruksi Sumur	Bisa untuk sumur miring	Bisa untuk sumur miring	<b>Vertikal / tegak</b>	Bisa untuk sumur miring	Bisa untuk sumur miring	Bisa untuk sumur miring
Mekanisme Pendorong	<i>Gas Cap Drive &amp; Solution Gas Drive</i>	<i>Gas Cap Drive &amp; Solution Gas Drive</i>	<i>Water Drive/ Solution Gas Drive</i>	<i>Water Drive</i>	<i>Water Drive</i>	<i>Water Drive</i>

### 3.5 Hydraulic Pumping Unit (HPU)



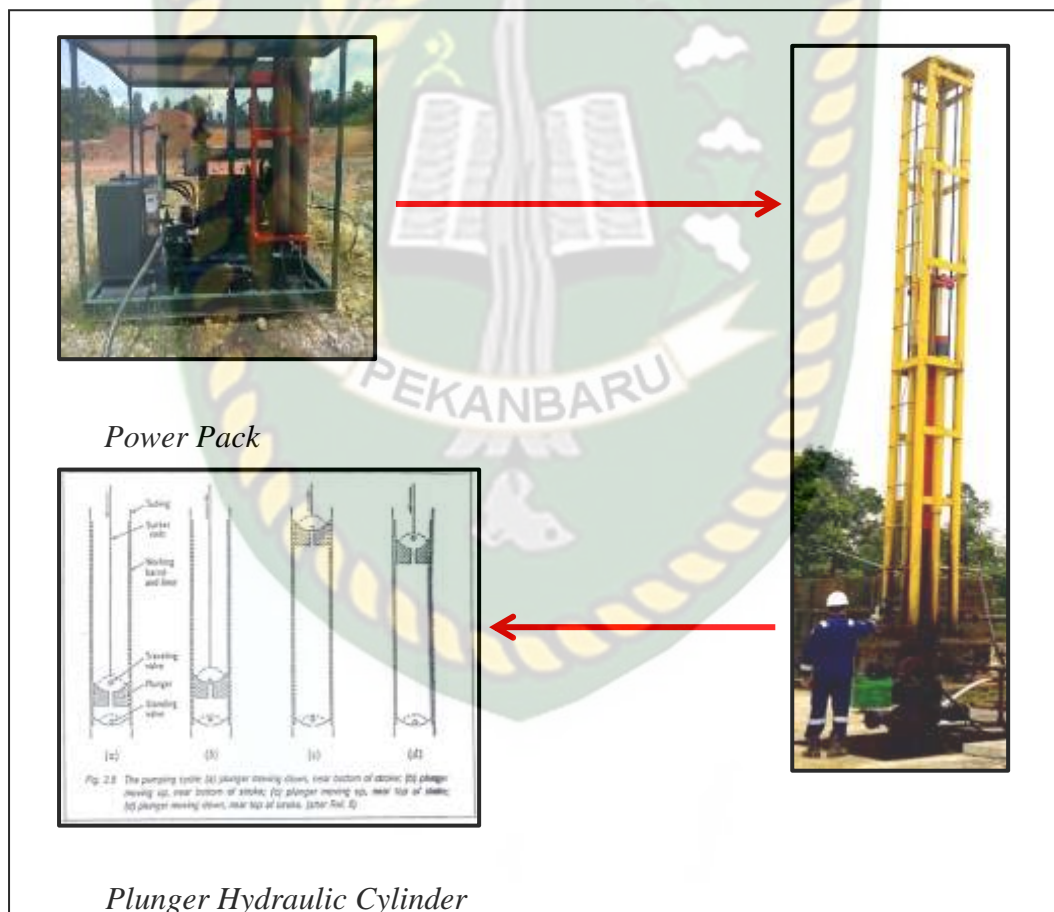
**Gambar 3.1.** *Hydraulic Pumping Unit (HPU)* foto lapangan

*Rod Pump* adalah merupakan salah satu metode pengangkatan buatan yang banyak digunakan saat ini, dimana untuk mengangkat minyak dari dalam sumur ke permukaan digunakan pompa dengan *rod* (tangkai pompa). Fungsi utama dari

pompa itu sendiri adalah untuk memuat (*load*) fluida dari formasi kedalam rangkaian alat produksi lalu kemudian mengangkatnya kepermukaan.

*Rod Pump* banyak digunakan di lapangan minyak dan dipakai untuk sumur-sumur lurus dan vertikal. *Rod Pump* yang ada pada lapangan X ini dikombinasikan dengan *Hydraulic Pumping Unit* (HPU) pada fasilitas permukaannya dan sangat dikenal di lapangan karena dapat menyesuaikan terhadap fluktuasi laju aliran produksi, tidak mudah rusak, mudah diperbaiki, biaya operasi dan biaya perawatan relatif lebih murah.

### 3.5.1 Prinsip Kerja *Hydraulic Pumping Unit* (HPU)



**Gambar 3.2.** Prinsip Kerja *Hydraulic Pumping Unit*

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

1. *Hydraulic fluid* bertekanan tinggi dari *power pack* dipompakan menuju ke *hydraulic cylinder* melalui *hydraulic hose* untuk mentransmisikan tekanan dari *hydraulic fluid* menjadi gerakan naik turun pada *hydraulic cylinder*.
2. Dari gerakan *hydraulic cylinder* tadi kemudian diteruskan oleh *polished rod* ke *sucker rod* dan ke *Plunger*, sehingga *Plunger* bergerak turun naik yang disebut gerakan langkah dari pompa.
3. Apabila *plunger* bergerak keatas (*up-stroke*), maka di bawah *plunger* akan terjadi penurunan tekanan, sehingga tekanan dasar sumur lebih besar dari tekanan dalam pompa, keadaan ini menyebabkan *standing valve* terbuka dan fluida masuk kedalam pompa.
4. Pada akhir *up-stroke*, volume di bawah *plunger* terisi penuh oleh cairan dan pada saat *plunger* bergerak kebawah (*down-stroke*), *standing valve* akan tertutup karena *plunger* menekan fluida, pada saat bersamaan fluida tersebut akan menekan *traveling valve*, sehingga menyebabkan 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 *flowline*.

### 3.5.2 Kelebihan dalam Penggunaan *Hydraulic Pumping Unit* (HPU)

1. HPU lebih mudah untuk dipindahkan dari satu sumur kesumur lain karena tidak memerlukan pondasi, dan teknis penyetelannya sederhana.
2. Perubahan Kecepatan Pemompaan (*Stroke per Minute/SPM*) dan panjang langkah (*Stroke Length*) lebih mudah. Dalam mengubah SPM tidak perlu mengganti *pulley* dan dalam penentuan *stroke length* tidak menggunakan alat berat untuk menggeser *crank pin* seperti pada pompa angguk.
3. Optimasi sumur dengan alat HPU dapat dilakukan secara tepat dan mudah dengan mengubah parameter kecepatan dan langkah pompa yang dapat dilakukan setiap saat dengan waktu yang lebih cepat, sehingga kehilangan produksi dapat diminimalkan.

4. Pengaturan langkah HPU lebih mudah karena tinggal mengubah *setting hydraulic*.
5. Pemakaian energi listrik lebih hemat dibandingkan pompa angguk.
6. Kehilangan produksi akan lebih dapat diminimalkan apabila pemasangan, pemindahan, dan pengaturan dapat dilakukan dengan lebih cepat.
7. Mengurangi resiko kebocoran *stuffing box* karena penempatan *hydraulic jack* lebih terpusat.
8. Biaya sewa lebih murah dibandingkan pompa angguk.

### **3.5.3 Kekurangan dalam Penggunaan *Hydraulic Pumping Unit* (HPU)**

1. Tidak cocok untuk produksi dalam jumlah besar.
2. Kedalaman sumur terbatas.
3. Kurang cocok untuk sumur miring dan lepas pantai.

### **3.5.4 Komponen Peralatan *Hydraulic Pumping Unit* (HPU)**

Berikut komponen peralatan HPU di atas permukaan dan di bawah permukaan, sebagai berikut :

#### **3.5.4.1. Peralatan di Atas Permukaan (*Surface Equipment*)**

##### **1. *Power Pack***

Berfungsi untuk memompakan oli hidrolik menuju ke *cylinder hydraulic* yang berada di menara untuk mengangkat beban. Yang terdiri dari komponen-komponen berikut ini:

##### **a. *Gas Engine***

Merupakan alat untuk *compression engine* yang mengubah energi kimia (gas) menjadi energi mekanik untuk menggerakkan pompa hidrolik.

##### **b. *Flow Control Valve***

Digunakan untuk mengontrol jumlah aliran *fluida*. Katup yang bawah membatasi penyebaran *fluida*, sedangkan yang atas membatasi seberapa cepat penghalang (*valve*) dibuka.

c. *Relief Valve*

Berfungsi untuk menjaga tekanan yang ada di dalam sirkuit hidrolik dengan membatasi tekanan maksimum yang ada pada komponen-komponen di luar maupun di dalam sirkuit dari tekanan yang berlebihan sehingga mencegah kerusakan komponen. Saat terjadi tekanan berlebihan maka katup *relief valve* akan terbuka, sehingga oli bertekanan tinggi akan dikembalikan lagi ketangki yang memiliki tekanan rendah.

d. *Control Panel*

Merupakan pusat kontrol elektrik pada HPU.

e. *Hydraulic Oil Level Switch*

Berfungsi sebagai *safety shutdown system*, alat ini akan mematikan sistem jika oli dalam tangki berkurang dari level aman, sehingga dapat mencegah kerusakan pada pompa hidrolik.

f. *Manifold*

Rangkaian penghubung sirkuit hidrolik dari pompa hidrolik menuju *manifold block* dan DCV (*Direction Control Valve*).

g. *Valve Sirkulasi*

Berfungsi untuk mengatur oli hidrolik mengalir menuju sistem atau kembali ketangki.

h. *Directional Control Valve (DCV)*

Berfungsi untuk mengatur dan mengendalikan cairan hidrolik pada sistem.

i. *Pressure Gauge*

Menunjukkan *system pressure* HPU secara aktual. Standar operasi harus kurang dari 2000 psi.

j. *Gate Valve*

*Gate valve* ini harus selalu dalam keadaan terbuka sebelum *power pack* dinyalakan.

k. *Oil Pressure Gauge*

Berfungsi untuk mengetahui temperatur dari oli hidrolik yang berada di dalam tangki hidrolik.

#### l. Tangki Oli Hidrolik

Berfungsi sebagai tempat penampungan oli hidrolik yang akan digunakan pada sistem hidrolik, 500 L Oli Hidrolik adalah kapasitas minimum pada tangki yang berfungsi untuk menjaga agar cairan hidrolik pada sistem tidak berada di bawah tekanan yang diizinkan. Tangki ini juga berfungsi untuk menghilangkan gelembung-gelembung udara yang ikut terbawa bersama oli. Dan untuk menjaga agar kondisi oli tetap baik selama operasi, tangki dilengkapi dengan saringan (*filter*) yang bertujuan untuk mencegah kotoran masuk ketangki. Ketika oli panas yang dikembalikan dari sistem akan didinginkan dengan cara menyebarkan panasnya berdasarkan pada luas permukaan tangki. Dan dibantu juga dengan *Cooler* yang berfungsi untuk mendinginkan oli hidrolik, kemudian dikembalikan kedalam tangki hidrolik.

#### m. *Strainer*

Memiliki prinsip yang sama dengan filter, terbuat dari saringan kawat yang berukuran halus. Saringan ini berfungsi untuk memisahkan partikel kasar yang ada di dalam oli. Saringan ini di pasang di dalam tangki oli hidrolik pada saluran masuk pompa. Karena *strainer* memiliki saringan yang halus maka secara berangsur-angsur sejalan dengan jam operasi HPU, pada *strainer* akan terjadi penyumbatan dan harus diganti secara berkala.

#### n. *Filter* Oli Hidrolik

Terbuat dari kertas halus. Fungsinya memisahkan partikel-partikel halus yang ada di dalam oli, menapis kotoran, partikel logam. Sebab kotoran dapat menyebabkan cepat terjadinya keausan pompa hidrolik, *cylinder hydraulic* dan *valve*. Saringan (*filter*) ini berangsur-angsur akan buntu atau tersumbat sejalan dengan jam operasi mesin, sehingga perlu dilakukan pergantian secara berkala. *Filter* oli hidrolik ini dilengkapi dengan *bypass valve* sehingga bila *filter* terjadi kebuntuan atau tersumbat, oli hidrolik masih dapat mengalir ketangki. Hal ini dapat mencegah terjadinya tekanan yang berlebihan dan kerusakan sistem.

o. *Hydraulic Hose*

Berfungsi mengalirkan fluida bertekanan tinggi dari *power pack* ke *hydraulic unit* dan sebaliknya juga mengalirkan *hydraulic fluid* bertekanan tinggi dari *hydraulic cylinder* kembali ke *power pack*.

p. *Accumulator*

Berfungsi sebagai reservoir tekanan untuk menyimpan energi yang nantinya dapat dilepaskan menjadi energi dorong dengan bantuan gas Nitrogen bertekanan tinggi.

q. *Counter Balance*

Sebagai kontrol tekanan balik yang berasal dari silinder hidrolik agar pendingin oli hidrolik di dalam *Cooler* menjadi lebih halus dan stabil sehingga pendingin oli akan lebih sempurna.

## 2. **Menara Silinder Hidrolik**

Berfungsi untuk sebagai pondasi dari HPU yang juga tempat berdirinya *Hydraulic Cylinder* dan rangkaian pengangkat *Polished rod*. Yang terdiri dari komponen-komponen sebagai berikut :

a. **Menara dan *Cylinder Hydraulic***

Menara berfungsi sebagai pondasi untuk *polished rod* saat beroperasi agar lebih kuat dan sentral sehingga kebocoran pada *stuffing box* dapat dihindari. *Cylinder hydraulic* mengubah tenaga *hydraulic* menjadi tenaga *mekanik* (gerak *vertikal*). Fluida yang ditekan akan menekan sisi piston *cylinder* sehingga *cylinder* akan bergerak secara mekanis. *Single acting cylinder* hanya mempunyai satu *port*, sehingga fluida bertekanan hanya masuk melalui satu saluran, dan menekan ke satu arah. Untuk gerakan kebawah atau *down-stroke* dapat dilakukan dengan cara membuka *valve* atau *cylinder* agar bergerak secara otomatis karena beban dan gaya gravitasi. Kecepatan gerakan *silinder* tergantung pada *flow rate* dan *volume* oli hidrolik yang menekan piston. *Cycle Time* adalah waktu yang dibutuhkan oleh *cylinder hydraulic* untuk melakukan gerakan



memanjang penuh. *Cycle Time* adalah hal yang sangat penting dalam mendiagnosa *problem hydraulic*.

b. *Base Plate*

Sebagai dudukan dasar dari menara, sehingga HPU sejajar penuh dengan sumur. Dikenal juga sebagai *sub plate*.

c. *Carrier bar* Besar

Berfungsi untuk menyambung kekuatan dua silinder.

d. *Carrier bar* Kecil

Berfungsi sebagai tempat bergantungnya *Plat Bridle*.

e. *Stud Bolt*

Berfungsi untuk menghubungkan *carrier bar* besar dengan *carrier bar* kecil dan sebagai alat untuk mengatur posisi lubang *plat bridle* dengan *bridle*.

f. *Bridle block*

Berfungsi sebagai penghubung antara *rod* HPU dan *pony rod* dari rangkaian sumur.

g. *Plat Bridle*

Yaitu dua buah plat yang berfungsi sebagai penghubung antara *bridle block* dengan *carrier bar* kecil.

h. *Clamp Polished rod*

Berfungsi sebagai penjepit *polished rod*, alat ini berada tepat diatas *bridle block*.

i. *Centralizer*

Berfungsi untuk menjaga pergerakan *cylinder* agar tetap pada jalurnya.

j. *Limit Switch*

Berfungsi sebagai pengatur batas ketika *up-stroke* dan *down-stroke*. Setiap menara hidrolik memiliki sepasang *limit switch*.

### 3. *Well Head*

Merupakan tempat menggantungnya *Tubing* dan *casing* atau tempat menggantungnya rangkaian di bawah permukaan. Komponen-komponennya adalah sebagai berikut :

a. *Flow Tee*

Berfungsi untuk mengalirkan fluida ke *flow line*.

b. *Flow Line*

Sebagai tempat mengalirnya fluida hasil pemompaan.

c. *Stuffing Box*

Merupakan tempat kedudukan *polished rod* sehingga *polished rod* dapat naik turun dengan bebas dan berfungsi untuk mengisolasi sumur dan mencegah agar fluida tidak ikut keluar waktu naik turunnya *polished rod*. Di dalam *stuffing box* terdapat *rubber*, satu berada di atas, empat ditengah dan dua di bawah.

d. *Tubing Hanger*

Berfungsi untuk tempat menggantungnya *Tubing* yang berada di bawah permukaan.

#### 3.5.4.2. Peralatan di Bawah Permukaan (*Subsurface Equipment*)

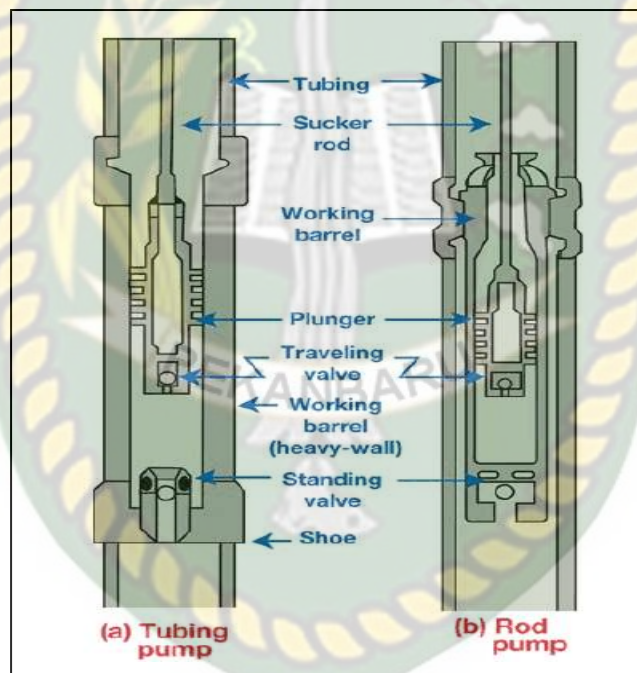
##### 1. Pompa

a. *Rod Pump*

Unit pompa keseluruhan (*Working Barrel, Standing valve, Plunger, Seating Nipple, dan Traveling Valve*) dimasukkan kedalam sumur bersama-sama dengan *rod* melalui *Tubing*. Untuk keperluan reparasi dan pergantian pompa cukup dicabut *rod*-nya saja, dengan demikian seluruh unit pompa akan ikut terangkat keatas. Tipe pompa demikian sering digunakan pada sumur-sumur yang dalam. *Rod Pump*, posisi dari *Barrel* menyatu dengan *Sucker Rod* sehingga bila *Sucker Rod* dicabut saat perbaikan maka *Barrel* akan ikut tercabut.

**b. Tubing Pump**

Tipe pompa semacam ini dimasukkan kedalam sumur bersama-sama dengan *Tubing*, sedangkan *Plunger* dan *Traveling Valve* diikatkan pada ujung bawah dari *RodString* dan diturunkan sampai *Standing Valve*. Apabila pompa hendak dicabut baik *Rod String* maupun *Tubing* harus dicabut pula bersama-sama. Tipe ini sering digunakan pada sumur-sumur dangkal dengan produktifitas kecil. Dikatakan *Tubing Pump* karena posisi *Barrel* dari pompa menyatu dengan *Tubing* sehingga saat *Sucker Rod* dicabut pada saat perbaikan maka *Barrel* tetap berada di bawah tidak ikut tercabut.



Gambar 3.3. *Tubing Pump* dan *Rod Pump* <sup>2)</sup>

**2. Rod String**

*Rod String*, merupakan rangkaian string yang menghubungkan *subsurface pump* dan instalasi pompa dipermukaan.

**a. Sucker Rod**

*Sucker rod*, merupakan batang penghubung antara *Plunger* dengan peralatan dipermukaan. Fungsi utamanya adalah

melanjutkan gerak naik turun. Umumnya panjang satu *single* dari *sucker rod* yang sering digunakan adalah 25 – 30 ft.

**Tabel 3.2.** Spesifikasi *Sucker Rod* <sup>2)</sup>

<i>Diameter Rod</i>	<i>inch</i>	1/2	5/8	3/4	7/8	1	1 1/8
	mm	12,7	15,87	19,05	22,22	25,4	28,57
<i>Diameter Coupling</i>	<i>inch</i>	1	1,5	15/8	1 13/16	2 3/16	23/8
	mm	25,40	38,05	41,30	46,75	58,75	60,30
Luas Penampang	<i>inch</i> <sup>2</sup>	0,196	0,307	0,442	0,601	0,785	0,994
<i>Rod</i>	cm <sup>2</sup>	1,26	1,98	2,85	3,86	5,06	6,41
Berat <i>Rod</i>	lb/ft	0,68	1,14	1,62	2,17	2,88	3,67
<i>Coupling</i>	kg/m	1,03	1,73	2,45	2,85	4,30	5,46

**b. Pony Rod**

*Pony rod*, merupakan rod yang mempunyai panjang yang lebih pendek dari panjang rod umumnya (<25ft). Fungsinya untuk melengkapi panjang dari *sucker rod*, panjang *Pony Rod* yang adalah 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10 dan 12 ft.

**c. Polished Rod**

*Polished rod*, merupakan tangkai rod yang berada diluar sumur yang menghubungkan *sucker rod string* dengan *carrier bar* dan dapat naik turun di dalam *stuffing box*. Diameter *stuffing box* lebih besar dari diameter *polished rod*. Panjang *polished rod* adalah 8, 11, 16, dan 22 ft. Diameternya, 1 1/4 , 1 1/2 , 1 1/8 , dan 1 3/4.

**d. Tubing**

*Tubing*, merupakan pipa untuk produksi dan bisa dipindah atau diganti tidak seperti casing. *Tubing* berfungsi seperti tempat

mengalirnya fluida produksi sampai ke permukaan. Pada *artificial lift*, *Tubing* juga berfungsi sebagai tempat menggantungnya pompa.

**Tabel 3.3.** Spesifikasi *Tubing* <sup>2)</sup>

Nominal, <i>inch</i>	OD, <i>inch</i>	ID, <i>inch</i>	Metal Area, <i>square inch</i>
1,9	1,9	1,610	0,8
2 3/8	2,375	1,995	1,304
2 7/8	2,875	2,441	1,812
3 1/2	3,5	2,992	2,590
4	4	3,476	3,077
4 1/2	4,5	3,968	3,601

### 3. *Working Barrel*

Merupakan tempat dimana *plunger* dapat bergerak naik turun sesuai dengan langkah pemompaan dan menampung fluida sebelum diangkat oleh *plunger* pada saat *up-stroke*.

Menurut standart API ada dua jenis *barrel*, yaitu :

- a. *Liner Barrel*, biasanya jenis ini diberi simbol (L).
- b. *Full Barrel*, yaitu terdiri dari satu bagian yang utuh dan kuat, biasanya jenis ini diberi simbol (H) untuk *Heavy-Wall* dan ( W ) untuk *Thin-Wall*.

### 4. *Plunger*

Merupakan torak atau tangkai pompa yang terletak di dalam *working barrel*, apabila *plunger* ditarik keatas (*up-stroke*) maka fluida akan masuk kedalam *working barrel* melalui *standing valve*, sedangkan sewaktu *plunger* diturunkan (*down-stroke*) fluida akan keluar keatas melalui *traveling valve*. Pada *plunger* ini terdapat *ball* dan *seat*, yang berfungsi sebagai katup.

**Tabel 3.4.** Spesifikasi *Plunger*<sup>2)</sup>

Diameter, <i>inch</i>	Area ( <i>inch</i> <sup>2</sup> )	Konstanta Pompa (bbl/hari/spm)
1	0,785	0,116
1 1/16	0,886	0,131
1 1/4	1,227	0,182
1 1/2	1,767	0,262
1 3/4	2,405	0,357
1 15/22	2,488	0,369
2	3,142	0,466
2 1/4	3,976	0,59
2 1/2	4,909	0,728
2 3/4	5,94	0,881
3 3/4	11,045	1,639
6 3/4	17,721	2,63

**5. *Standing Valve***

Merupakan katup yang terdapat di bagian bawah *working barrel* yang berfungsi memberi jalan masuk bagi fluida dari dalam sumur masuk ke *working barrel* (pada saat *up-stroke*, *standing valve* terbuka) dan untuk menahan fluida agar tidak keluar dari *working barrel* pada saat *plunger* bergerak kebawah (pada saat *down-stroke*, *standing valve* tertutup).

*Standing valve* terdiri dari sebuah bola besi dan tempat dudukan (*ball and seat*). *Standing Valve* ini mempunyai peranan yang sangat penting dalam sistem pemompaan karena efisiensi volumetris pemompaan sangat tergantung pada cara kerja dari *ball and seat*-nya. Ketepatan membuka dan menutup dengan gerak naik turun *plunger* sangat menentukan efisiensi volumetris pemompaan.

## 6. *Traveling Valve*

Merupakan *ball and seat* yang terletak pada bagian bawah dari *plunger* dan akan ikut bergerak keatas dan kebawah menurut gerakan *plunger*.

Fungsinya :

1. Mengalirkan atau memindahkan fluida dari *working barrel* masuk ke *plunger*, hal ini terjadi pada saat *plunger* bergerak kebawah.
2. Menahan fluida pada saat *plunger* bergerak keatas sehingga fluida tersebut dapat dipindahkan ke *tubing* untuk selanjutnya dialirkan ke permukaan.

## 7. *Joint Tubing*

Merupakan *Tubing* yang berukuran lebih pendek dari ukuran *Tubing* normal yang bertujuan sebagai penambah dari panjang *tubing* sehingga panjang yang diinginkan dapat tercapai.

## 8. *Seating Nipple*

Merupakan tempat kedudukan dari *standing valve* sehingga *standing valve* tidak terlepas pada saat *up-stroke* dan *down-stroke*. *Seating nipple* biasanya digunakan pada pompa jenis *rod pump*.

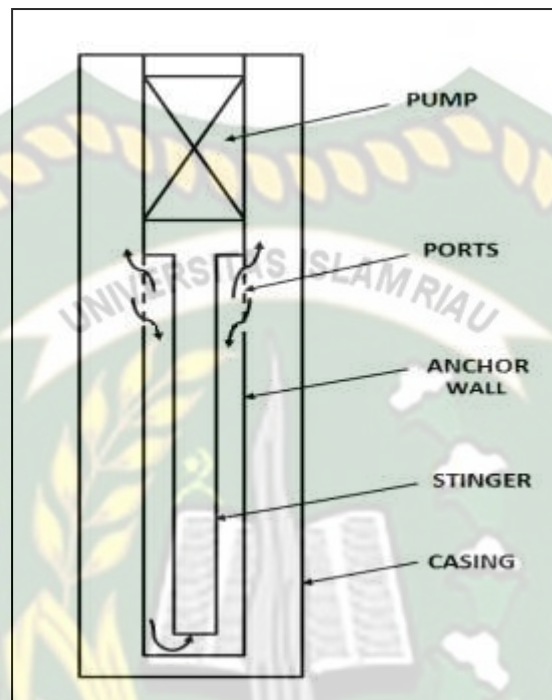
## 9. *Tubing Nipple*

Berfungsi sebagai tempat kedudukan dari *Standing Valve* sehingga *Standing Valve* tidak terlepas pada saat *up-stroke* dan *down-stroke*. *Tubing Nipple* dipasang bersamaan dan menyatu dengan *tubing* dan digunakan pada pompa jenis *Tubing Pump*.

## 10. *Gas Anchor*

Merupakan komponen bagian bawah dari rangkaian pompa yang berfungsi untuk memisahkan gas dari fluida agar gas tersebut tidak ikut masuk kedalam pompa bersama-sama dengan fluida. Dengan banyaknya gas yang masuk kedalam pompa dapat menyebabkan terjadinya gas *pound* atau gas *lock*. Ada tiga tipe *Gas Anchor*, yaitu :

### 1. *Poorman Type*

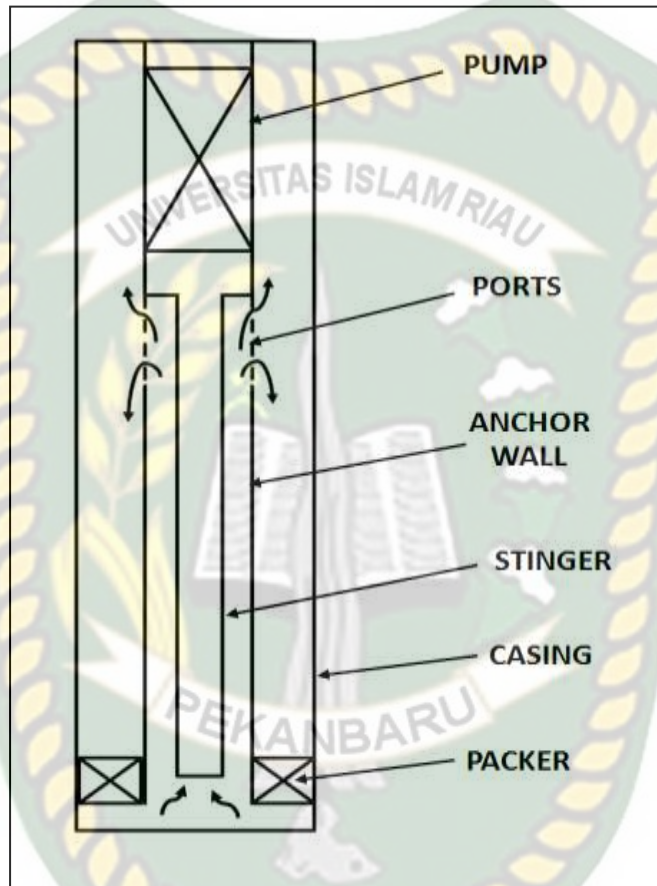


Gambar 3.4. Gas Anchor Poorman Type <sup>3)</sup>

Larutan gas dalam minyak yang masuk kedalam *Anchor* akan melepaskan diri dari larutan. Fluida akan masuk kedalam *Barrel* melalui *Suction Pipe*, sedangkan gas yang telah terpisah akan dialirkan melalui *annulus*. Apabila *Suction Pipe* terlalu panjang atau diameternya terlalu kecil, maka akan terjadi *Pressure Loss* yang cukup besar sehingga menyebabkan terjadinya penurunan PI sumur pompa. Sedangkan apabila *Suction Pipe* terlalu besar akan menyebabkan *annulus* antara dinding *Anchor* dengan *Suction Pipe* menjadi lebih kecil, sehingga kecepatan aliran minyak besar dan akhirnya gas masih terbawa oleh butiran-butiran minyak. Diameter gas *anchor* yang besar akan menyebabkan penurunan PI sumur pompa.



## 2. *Packer Type*



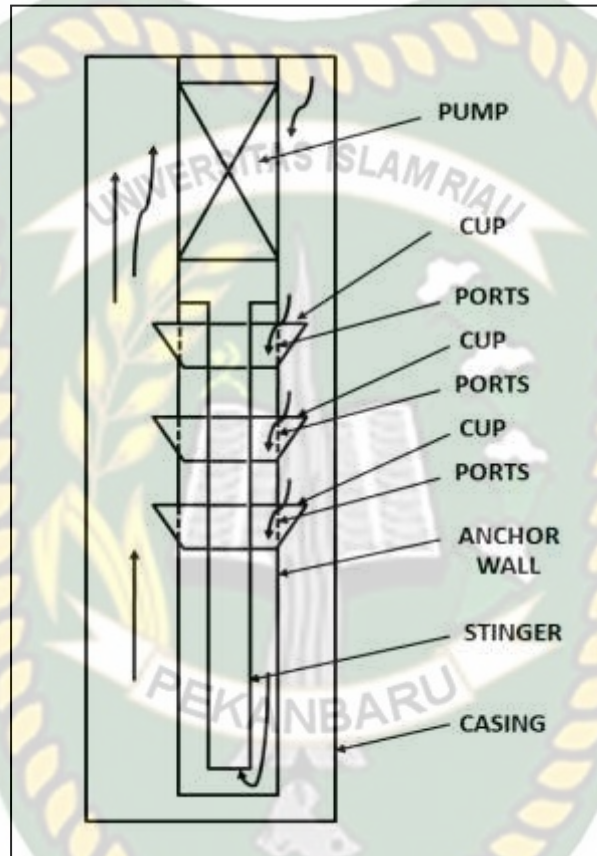
Gambar 3.5. Gas *Anchor Packer Type* <sup>3)</sup>

Minyak masuk melalui ruang antara dinding *Anchor* dan *Suction Pipe*, kemudian minyak jatuh di dalam *annulus* antara *casing* dan gas *Anchor* dan ditahan oleh *Packer*, selanjutnya minyak masuk kepompa melalui *suction pipe*. Disini minyak yang masuk kedalam *annulus* sudah terpisah dari pompa.

## 3. *Cup Anchor*

Larutan (minyak dan gas) bergerak sepanjang *casing* bagian dalam dan terjadi pemisahan akibat beda berat jenis. Setelah

mencapai *anchor* arah aliran di alihkan agar larutan masuk kedalam *cup*. Akibat perubahan arah aliran terjadi pemisahan lagi. Cairan minyak yang terkumpul pada *cup* selanjutnya masuk kedalam pompa.



Gambar 3.6. Gas Anchor Cup Type <sup>3)</sup>

### 3.6 Permasalahan yang sering terjadi, analisa dan *Trouble shooting* pada HPU

Tabel 3.5. Permasalahan HPU<sup>4)</sup>

No.	Masalah	Analisa	Solusi
1	HPU Mati	Periksa Level Oli Hidraulik	Tambahkan oli hidraulik hingga jarum pembaca <i>Murphy Level Switch</i> menunjukkan "full"

	HPU Mati (Lanjutan)	Hidrolik Silinder melewati <i>limit switch</i>	Tes <i>Relay</i> , ganti <i>relay</i> apabila sudah tidak berfungsi sebagaimana mestinya
		Periksa beban sumur dengan melihat tekanan hidrolik	Naikkan tekanan hidrolik sampai batas ketentuan yang diizinkan dalam pengoperasian HPU
		<i>Limit switch</i> dan kabel	Tes <i>limit switch</i> dan kabel, segera ganti apabila terjadi kerusakan
		<i>Supply</i> bahan bakar tidak cukup	Periksa tekanan gas dan <i>setting</i> karburator
		<i>Fuel supply</i> tersumbat	Ganti <i>line supply</i>
2	HPU tidak dapat mengang- kat beban	Periksa <i>valve</i> sirkulasi	Pastikan posisi <i>valve</i> dalam keadaan tertutup, ganti <i>valve</i> sirkulasi jika tidak dapat menutup dengan benar
		Periksa tekanan hidrolik (kurang tekanan)	Naikkan tekanan hidrolik sampai batas maksimum yang diizinkan
		Tekanan hidrolik sudah tinggi sesuai dengan ketentuan dalam mengoperasikan HPU	Lepas <i>briddle block</i> , naikkan secara perlahan tanpa ada beban, jika silinder dapat bergerak naik dan turun dalam keadaan normal, maka kemungkinan besar terjadi kelebihan beban, maka sebaiknya HPU dimatikan dan laporkan
			Terjadi <i>downhole problem (stuck)</i> , matikan mesin dan laporkan

3	<i>Counter Balance</i> tidak berfungsi normal (menimbulkan bunyi keras)	Kurang tekanan udara	Tambahkan tekanan udara
		Piston rusak	Ganti <i>seal piston</i>
4	Sensor <i>Limit Switch</i> tidak berfungsi normal ( <i>Hydraulic Jack</i> terus bergerak keatas atau kebawah melewati <i>limit switch</i> )	<i>Briddle</i> tidak menyentuh <i>limit switch</i>	Perbaiki posisi <i>limit switch</i> atau <i>briddle block</i>
		<i>Limit Switch</i> tidak berfungsi	Cek fungsi <i>limit switch</i> , jika rusak ganti yang baru
		Kabel putus	Periksa kabel dan sambungan kabel, jika rusak ganti, atau sambungkan kembali
5	<i>Low Level Hydraulic Oil</i>	Ada kebocoran	Periksa lokasi kebocoran dan perbaiki segera
			Tambahkan oli hidrolik sampai <i>murphy level</i> menunjukkan <i>full</i>
		Terjadi pencurian	Laporkan, tambahkan oli
6	Kebocoran pada koneksi	Adanya getaran sehingga koneksi menjadi longgar	Kencangkan koneksi

	DCV	O-ring rusak	Ganti dengan O-ring baru
7	<i>Pump Stuck</i>	Adanya pasir atau <i>scale</i>	<i>Rig Up</i> , cabut rangkaian tubing, ganti pompa baru
		<i>Working barrel</i> kempot	<i>Rig Up</i> , cabut rangkaian tubing, ganti barrel baru
8	<i>Ball</i> berbentuk oval	Akibat pasir, <i>scale</i> atau benturan	<i>Rig Up</i> , cabut tubing, ganti <i>ball &amp; seat</i> baru
9	<i>Stuffing box</i> bocor	Fluida keluar dari <i>stuffing box</i>	Matikan HPU, ganti <i>stuffing box</i> baru,
10	Rod Putus	Tidak ada produksi, tidak ada beban	<i>Rig Up</i> , cabut rangkaian tubing, ganti rod baru

### 3.7 Perawatan Rutin *Hydraulic Pumping Unit* (HPU)

Tabel 3.6. Perawatan Rutin *Hydraulic Pumping Unit* (HPU)

No	Jenis Pekerjaan		Frekuensi
1	Periksa filter hidraulik, apabila <i>clogging</i> indikator berada pada garis merah atau tekanan tinggi, maka segera ganti filter dengan yang baru		1 x 8 jam
2	Periksa <i>Oil Level Hydraulic</i>		1 x 8 jam
3	Periksa dan Catat Temperatur Hidraulik		1 x 8 jam
4	Periksa Level Oli Mesin		1 x 8 jam
5	Penggantian <i>filter</i> Hidraulik	<i>Power pack</i> baru/setelah <i>overhaul</i>	1 bulan sejak HPU beroperasi
		<i>Power Pack</i> lama	1 x 6 bulan
6	Ganti oli mesin		1 x 360 jam
7	Ganti oli <i>filter</i>		1 x 360 jam
8	Ganti saringan udara		1 x 6 bulan

9	Ganti oli hidraulik	1 x 6 bulan
10	Ganti <i>Engine Coolant</i> & bersihkan <i>radiator</i>	1 x 6 bulan

### 3.8 Efisiensi Volumetrik *Hydraulic Pumping Unit (HPU)*

Efisiensi volumetrik pompa didefinisikan sebagai perbandingan antara produksi yang diperoleh sebenarnya dengan *pump displacement* ( $V$ ) teoritis. Besarnya harga efisiensi volumetrik ( $E_v$ ) ini memberikan gambaran akan tingkat keberhasilan suatu instalasi pompa. Untuk menentukan besarnya efisiensi volumetrik ini perlu diketahui dahulu besarnya *pump displacement* yang secara matematis dituliskan sebagai berikut:

$$V = K \times S_p \times N \dots\dots\dots (3.16)$$

Keterangan:

- $V$  = *Pump displacement*, bbl/day
- $K$  = Konstanta pompa
- $S_p$  = Panjang langkah *plunger* efektif, *inch*
- $N$  = Kecepatan pompa, SPM

Harga  $K$  untuk bermacam-macam ukuran *diameter plunger* dapat dihitung dengan persamaan:

$$K = 0,1484 \times A_p \dots\dots\dots (3.17)$$

Jika jumlah cairan yang dapat diangkat adalah  $q$ , bbl/day, maka efisiensi volumetrik pompa adalah:

$$E_v = \frac{q}{V} \times 100 \% \dots\dots\dots (3.18)$$

Dalam merencanakan pompa biasanya efisiensi volumetrik ( $E_v$ ) dipilih sekitar 60-80 %, akan tetapi hal ini jarang tercapai.

Evaluasi efisiensi volumetrik dimaksudkan untuk mengontrol produksi sumur pada suatu lapangan untuk mengetahui penyebab penurunan produksi. Penurunan tekanan dan adanya permasalahan pada sumur yang dapat menyebabkan penurunan laju produksi terhadap kapasitas pompa yang mengakibatkan rendahnya efisiensi volumetrik pompa. Dengan demikian perlu dilakukan perubahan kondisi operasi pompa untuk peningkatan laju produksi.

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

1. Menghitung faktor percepatan ( $\alpha$ )
2. Menghitung panjang Efektif *plunger stroke* ( $S_p$ )
3. Menghitung *Pump Displacement* ( $V$ )
4. Menghitung efisiensi volumetrik pompa ( $E_v$ )

**Langkah Perhitungan :**

**3.8.1. Perhitungan IPR Sumur**

Untuk mengetahui kemampuan suatu sumur untuk berproduksi dapat dilihat dari kurva IPR sumur tersebut. Untuk perhitungan kurva IPR di lapangan X digunakan metode Vogel.

Berikut adalah langkah-langkah perhitungan IPR berdasarkan perhitungan Kermith Brown:

1. **Productivity Index (PI)**

$$PI = \frac{Q_t}{(P_s - P_{wf})} \dots\dots\dots (3.19)$$

2. **Laju Alir Maksimum ( $Q_{max}$ )**

$$Q_{max} = \frac{Q_o}{\left(1 - 0,2 \times \left(\frac{P_{wf}}{P_s}\right) - 0,8 \times \left(\frac{P_{wf}}{P_s}\right)^2\right)}, \text{ BFPD} \dots\dots\dots (3.20)$$

3. **Menghitung harga Q untuk setiap Pwf yang berbeda-beda (Pwf asumsi)**

$$Q_o = Q_{max} \times \left(1 - 0,2 \times \left(\frac{P_{wf}}{P_s}\right) - 0,8 \times \left(\frac{P_{wf}}{P_s}\right)^2\right), \text{ BOPD} \dots\dots\dots (3.21)$$

Dengan rumus tersebut dapat ditentukan laju produksi (Q) untuk berbagai harga Pwf yang diasumsikan. Hasil perhitungan dibuat dalam bentuk tabel.

4. **Membuat kurva IPR dengan memplot antara harga Q vs Pwf.**

**3.8.2. Perhitungan Evaluasi Efisiensi**

1. Menghitung *Water Cut* dan *Oil Cut*

$$W_c = \left(\frac{Q_t - Q_o}{Q_t}\right) \times 100\% \dots\dots\dots (3.22)$$

$$O_c = 1 - W_c \dots\dots\dots (3.23)$$

Keterangan :

$Q_t$  = Laju Produksi Total, BFPD  
 $Q_o$  = Laju Produksi Minyak, BOPD

2. Menghitung *Specific Gravity* (SG) *fluida* dan *Gradien Fluida* (GF)

$$SG \text{ fluida} = (Wc \times SG \text{ water}) + (Oc \times SG \text{ oil}) \dots \dots \dots (3.24)$$

$$GF = SG \text{ fluida} \times 0,433 \dots \dots \dots (3.25)$$

Keterangan :

$SG \text{ water} = 1,0270$

$SG \text{ oil} = 0,8169$

GF = *Gradien Fluida*

3. Perhitungan IPR Metode Vogel

$$PI\text{-gross} = \frac{Q_{gross}}{(P_s - P_{wf})} \dots \dots \dots (3.26)$$

$$Q_{\max\text{-gross}} = \frac{Q_{gross}}{\left(1 - 0,2 \times \left(\frac{P_{wf}}{P_s}\right)\right) - 0,8 \times \left(\frac{P_{wf}}{P_s}\right)^2}, \text{ BFPD} \dots \dots \dots (3.27)$$

$$PI\text{-nett} = \frac{Q_{nett}}{(P_s - P_{wf})} \dots \dots \dots (3.28)$$

$$Q_{\max\text{-nett}} = \frac{Q_{nett}}{\left(1 - 0,2 \times \left(\frac{P_{wf}}{P_s}\right)\right) - 0,8 \times \left(\frac{P_{wf}}{P_s}\right)^2}, \text{ BOPD} \dots \dots \dots (3.29)$$

4. Menghitung Luas *Plunger* ( $A_p$ )

$$A_p = 0,25 \times \pi \times (d_p)^2, \text{ inch}^2 \dots \dots \dots (3.30)$$

5. Menghitung Luas *Top Rod* ( $A_r$ )

$$A_r = 0,25 \times \pi \times (d_r)^2, \text{ inch}^2 \dots \dots \dots (3.31)$$

6. Menghitung Luas *Tubing* ( $A_t$ )

$$A_t = 0,25 \times \pi \times (d_t)^2, \text{ inch}^2 \dots \dots \dots (3.32)$$

7. Menghitung Faktor Percepatan ( $\alpha$ )

$$\alpha = \frac{S \times N^2}{70500} \dots \dots \dots (3.33)$$

8. Menghitung *Plunger Over Travel* ( $e_p$ )

$$E_p = \frac{46,5 \times L^2 \times \alpha}{E}, \text{ inch} \dots \dots \dots (3.34)$$

9. Menghitung Perpanjangan *Tubing* ( $e_t$ ) dan *Rod String* ( $e_r$ )

$$e_t = \frac{5,20 \times SG_{fluid} \times DFL \times A_p \times L}{E \times A_t}, \text{ inch} \dots \dots \dots (3.35)$$



$$e_r = \frac{5,20 \times SG \text{ fluida} \times DFL \times A_p \times L}{E \times A_r}, \text{ inch} \dots\dots\dots (3.36)$$

10. Menghitung Efektif *Plunger Stroke* ( $S_p$ )

$$S_p = S + e_p - (e_t + e_r), \text{ inch} \dots\dots\dots (3.37)$$

11. Menghitung Konstanta Pompa ( $K$ )

$$K = 0,1484 \times A_p \dots\dots\dots (3.38)$$

12. *Pump Displacement* ( $V$ )

$$V = K \times S_p \times N, \text{ BPD} \dots\dots\dots (3.39)$$

13. Mengitung Efisiensi Volumetrik Pompa ( $E_v$ )

$$E_v = \frac{Q_t}{V} \times 100 \% \dots\dots\dots (3.40)$$

### 3.8.3 Perhitungan Optimasi *Hydraulic Pumping Unit* (HPU)

Setalah dilakukan evaluasi terhadap kinerja pompa dan diketahui potensi dari sumur yang dianalisa, dilakukan optimasi pompa agar didapatkan hasil produksi lebih optimum. Sumur dengan kinerja pompa kurang baik, yang ditandai dengan efisiensi volumetrik yang rendah dalam memproduksi fluida, memerlukan perubahan parameter pompa agar dapat menghasilkan produksi secara optimum.

Berikut adalah langkah-langkah perhitungan Optimasi Pompa *Sucker Rod*:

1. Menentukan besarnya harga  $K$

$$K = 0,1484 \times A_p \text{ (bpd/in/spm)} \dots\dots\dots (3.41)$$

2. Menentukan *Pump Intake Pressure* (PIP)

$$PIP = P_{wf} - G_f \times (\text{Mid Perforasi} - L), \text{ Psi} \dots\dots\dots (3.42)$$

3. Menentukan kedalaman pompa *optimum* ( $L_{opt}$ )

$$L_{opt} = DFL + \left( \frac{PIP - 0}{G_f} \right), \text{ ft} \dots\dots\dots (3.43)$$

4. Menentukan Berat *Rod* ( $W_r$ )

$$\begin{aligned}
 L &= L_1 + L_2 \\
 &= (\text{Joints} \times 25,065 \text{ ft}) + (\text{Joints} \times 25,065 \text{ ft}), \text{ ft} \dots\dots\dots (3.44)
 \end{aligned}$$

Berat *Rod* ( $W_r$ ):

$$W_r = (M_1 \times L_1) + (M_2 \times L_2), \text{ lbs} \dots\dots\dots (3.45)$$

5. Menentukan Berat *Fluida* ( $W_f$ )

$$W_f = 0,433 \times SG_{fluida} \times L \times A_p, \text{ lbs} \dots\dots\dots (3.46)$$

6. Menentukan konstanta a, b dan c untuk menyelesaikan persamaan  $P = a + bq$  serta  $P = a + cq^2$  :

$$a = \frac{1}{A_p} \times \left[ W_f + (0,9 - 0,5063 \times SF) \times W_r - \left( \frac{T}{4} \times SF \times A_r \right) \right] \dots\dots\dots (3.47)$$

$$b = \frac{W_r \times N}{56400 \times K \times A_p} \times \left[ \left( (1 + (0,5625 \times SF)) + (1 - (0,5625 \times SF)) \right) \right], N \dots\dots\dots (3.48)$$

$$c = \frac{W_r}{45120 \times K^2 \times A_p \times S} \times \left[ \left( (1 + (0,5625 \times SF)) + (1 - (0,5625 \times SF)) \right) \right], /S \dots\dots\dots (3.49)$$

7. Dengan mensubstitusikan harga a, b dan c ke dalam persamaan *pump intake*, maka akan diperoleh persamaan untuk menentukan:

- a. *Stroke Per Minute* (SPM)

$$\begin{aligned}
 P_{i1} &= a + bq \\
 &= a + (b \times N) q \dots\dots\dots (3.50)
 \end{aligned}$$

- b. *Stroke Length* (S)

$$\begin{aligned}
 P_{i2} &= a + cq^2 \\
 &= a + (c / S) q^2 \dots\dots\dots (3.51)
 \end{aligned}$$

8. Menentukan berbagai harga N dan mengasumsikan untuk beberapa harga q sehingga dapat diperoleh harga *Pump Intake* ( $P_i$ ).
9. Menentukan berbagai harga S (*Stroke Length, in*) dan mengasumsikan untuk beberapa harga q sehingga dapat diperoleh harga *Pump Intake* ( $P_i$ ).
10. Kemudian plot pasangan data ( $q, P_i$ ) untuk setiap harga N dan S pada kurva IPR.
11. Dari perpotongan kurva IPR dan  $P_i$  didapatkan pasangan data laju alir untuk setiap harga *stroke per minute* ( $N, q$ ) dan laju alir untuk setiap harga *stroke Length* ( $S, q$ ) yang kemudian diplot sehingga diperoleh kurva hubungan antara N dan S terhadap q.
12. Menentukan *Peak Polished Rod Load* (PPRL) dan *Minimum Polished Rod Load* (MPRL):

$$a. \alpha_1 = \left( \frac{SxN^2}{70500} \right) x (1 + 0,33) \dots\dots\dots (3.52)$$

$$PPRL = Wf + (0,9 + \alpha_1) x Wr - P x Ap, lb \dots\dots\dots (3.53)$$

$$b. \alpha_2 = \left( \frac{SxN^2}{70500} \right) x (1 - 0,33) \dots\dots\dots (3.54)$$

$$MPRL = (0,9 + \alpha_2) x Wr, lb \dots\dots\dots (3.55)$$

13. Menentukan *Stress Maximum* ( $S_{max}$ ) dan *Stress Minimum* ( $S_{min}$ ):

$$S_{max} = \frac{PPRL}{Ar}, \text{ psi} \dots\dots\dots (3.56)$$

$$S_{min} = \frac{MPRL}{Ar}, \text{ psi} \dots\dots\dots (3.57)$$

14. Menghitung *Stress Allowable* ( $S_A$ ):

$$S_A = \left[ \frac{T}{4} + 0,5625 x S_{min} \right] x SF, \text{ psi} \dots\dots\dots (3.58)$$

15. Setelah didapatkan harga N, S, q dan Pwf dari perhitungan di atas, selanjutnya dilakukan perhitungan efisiensi volumetrik pompa hasil optimasi, sebagai berikut:

1. Menghitung Faktor Percepatan ( $\alpha$ )

$$\alpha = \frac{S x N^2}{70500} \dots\dots\dots (3.59)$$

2. Menghitung *Plunger Over Travel* ( $E_p$ )

$$E_p = \frac{46,5 x L^2 x \alpha}{E}, \text{ in} \dots\dots\dots (3.60)$$

3. Menghitung Perpanjangan *Tubing* ( $e_t$ ) dan *Rod String* ( $e_r$ )

$$e_t = \frac{5,20 x SG \text{ fluida} x DFL x Ap x L}{E x At}, \text{ in} \dots\dots\dots (3.61)$$

$$e_r = \frac{5,20 x SG \text{ fluida} x DFL x Ap x L}{E x Ar}, \text{ in} \dots\dots\dots (3.62)$$

4. Menghitung Efektif *Plunger Stroke* ( $S_p$ )

$$S_p = S + e_p - (e_t + e_r), \text{ in} \dots\dots\dots (3.63)$$

5. Menghitung Konstanta Pompa ( $K$ )

$$K = 0,1484 x Ap \dots\dots\dots (3.64)$$

6. *Pump Displacement* ( $V$ )

$$V = K x S_p x N, \text{ BPD} \dots\dots\dots (3.65)$$

7. Menghitung Efisiensi Volumetrik Pompa ( $E_v$ )

$$E_v = \frac{Q_t}{V} \times 100 \% \dots\dots\dots(3.66)$$



Dokumen ini adalah Arsip Miik :  
**Perpustakaan Universitas Islam Riau**

## BAB III TEORI DASAR

### 3.1 Produktifitas Formasi

Produktifitas formasi merupakan kemampuan formasi untuk memproduksi fluida yang terkandung dalam suatu reservoir pada tekanan tertentu, yang biasanya dinyatakan dengan *Productivity Index* (PI). Kemampuan ini digambarkan secara grafis dan disebut dengan kurva *Inflow Performance Relationship* (IPR). Dalam menentukan harga *Productivity Index* dan pembuatan kurva IPR berdasarkan fasa fluidanya dapat dibagi menjadi menjadi dua fasa, yaitu:

3. IPR untuk aliran fluida satu fasa
4. IPR untuk aliran fluida dua fasa

### 3.2 *Productivity Index* (PI)

*Productivity Index* (PI) secara umum didefinisikan sebagai perbandingan laju produksi yang dihasilkan oleh suatu sumur pada suatu harga tekanan aliran dasar sumur tertentu dengan perbedaan tekanan dasar sumur pada keadaan statis ( $P_s$ ) dan tekanan dasar sumur pada saat terjadi aliran ( $P_{wf}$ ) yang secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut:

$$PI = J = \frac{q}{(P_s - P_{wf})} \dots\dots\dots (3.1)$$

di mana:

- PI = J = *Productivity Index*, bbl/day/psi
- Q = Laju Produksi Aliran Total, bbl/day
- Ps = Tekanan Statis Reservoir, Psi
- Pwf = Tekanan Dasar Sumur saat terdapat Aliran, Psi

Secara teoritis persamaan (3.1) dapat didekati oleh persamaan radial dari Darcy untuk fluida *homogen, incompressible* dan *horizontal*. Dengan demikian, untuk aliran minyak saja berlaku hubungan pada persamaan (3.2).

$$PI = \frac{7,082 \times 10^{-3} \times k \times h}{Bo \times \mu_o \times \ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right)} \dots\dots\dots (3.2)$$

Sementara itu, untuk aliran minyak dan air berlaku persamaan:

$$PI = \frac{7,082 \times 10^{-3} \times h}{\ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right)} \left( \frac{k_o}{\mu_o Bo} + \frac{k_w}{\mu_w B_w} \right) \dots\dots\dots (3.3)$$

di mana:

- PI = *productivity index*, bbl/day/psi
- k = permeabilitas batuan, mD
- k<sub>w</sub> = permeabilitas efektif terhadap air, mD
- k<sub>o</sub> = permeabilitas efektif terhadap minyak, mD
- μ<sub>o</sub> = viskositas minyak, cp
- μ<sub>w</sub> = viskositas air, cp
- Bo = faktor volume formasi minyak, bbl/STB
- B<sub>w</sub> = faktor volume formasi air, bbl/STB
- r<sub>e</sub> = jari-jari pengurasan sumur, ft
- r<sub>w</sub> = jari-jari sumur, ft

Pada beberapa sumur harga *productivity index* akan tetap konstan untuk laju aliran yang bervariasi, tetapi pada sumur lainnya untuk laju aliran yang lebih besar *productivity index* tidak lagi berbentuk *linear* tetapi justru menurun, hal tersebut disebabkan karena timbulnya aliran turbulensi sebagai akibat bertambahnya laju produksi, berkurangnya laju produksi, berkurangnya permeabilitas terhadap minyak oleh karena terbentuknya gas bebas sebagai akibat turunnya tekanan pada lubang bor, kemudian dengan turunnya tekanan di bawah tekanan jenuh maka viskositas akan bertambah (sebagai akibat terbebasnya gas dari larutan) dan atau berkurangnya permeabilitas akibat adanya kompresibilitas batuan.

Dalam praktek di lapangan, laju produksi minyak yang melewati batas maksimum akan merugikan reservoir dikemudian hari, karena akan mengakibatkan terjadinya *water* atau *gas coning* dan kerusakan formasi (*formation damage*).

### 3.3 Inflow Performance Relationship (IPR)

Inflow Performance Relationship (IPR) merupakan pernyataan PI secara grafis yang menggambarkan perubahan-perubahan dari harga tekanan alir dasar sumur ( $P_{wf}$ ) versus laju alir ( $Q$ ) yang dihasilkan karena terjadinya perubahan tekanan alir dasar sumur tersebut.

#### 4.3.1 IPR untuk Aliran Fluida Satu Fasa

Aliran fluida dalam media berpori telah dikemukakan oleh Darcy (1856) dalam persamaan:

$$v = \frac{q}{A} = -\frac{k}{\mu} \frac{dP}{dL} \dots\dots\dots (3.4)$$

Persamaan tersebut mencakup beberapa anggapan, diantaranya adalah:

8. Aliran mantap (*steady state*)
9. Fluida yang mengalir satu fasa
10. Tidak terjadi reaksi antara batuan dengan fluidanya.
11. Fluida bersifat *incompressible*.
12. Viskositas fluida yang mengalir konstan.
13. Kondisi aliran *isothermal*.
14. Formasi homogen dan arah aliran horizontal.

Persamaan di atas selanjutnya dikembangkan untuk kondisi aliran radial, di mana dalam satuan lapangan persamaan tersebut berbentuk:

$$q = \frac{0,007082 \times k \times h \times (P_s - P_{wf})}{\mu_o B_o \ln(r_e - r_w)} \dots\dots\dots (3.5)$$

Keterangan:

- Q = Laju Produksi, STB/D
- k = Permeabilitas efektif minyak, mD
- h = Ketebalan formasi produktif, ft
- Pr = Tekanan formasi pada jarak  $r_e$  dari sumur, Psi
- $P_{wf}$  = Tekanan alir dasar sumur, Psi
- $\mu_o$  = Viskositas minyak, cp
- Bo = Faktor volume formasi minyak, bbl/stb

$r_e$  = Jari-jari pengurasan sumur, ft

$r_w$  = Jari-jari sumur, ft

Persyaratan yang harus dipenuhi untuk menggunakan persamaan di atas adalah:

5. Fluida berfasa tunggal
6. Aliran mantap (*steady state*)
7. Formasi homogen, horizontal
8. Fluida *incompressible*

Dengan demikian, apabila variabel dari Persamaan (3.5) diketahui, maka laju produksi (potensi) sumur dapat ditentukan.

#### 4.3.2 IPR untuk Aliran Dua Fasa Vogel

Pembuatan grafik IPR untuk aliran dua fasa pada mulanya dikembangkan oleh Weller, di mana Weller menurunkan persamaan J untuk reservoir gas terlarut sebagai berikut:

$$J = \frac{7 \times 10^{-3} \times k \times h \times (r_e^2 - r_w^2) \int_{P_w}^{P_e} \frac{k_{ro} dP}{\mu_o B_o}}{\left\{ r_e^2 \ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right) - 0,5(r_e^2 - r_w^2) \right\} (P_e - P_w)} \dots \dots \dots (3.6)$$

Di dalam penurunan persamaan (3.6) tersebut, dilakukan beberapa anggapan sebagai berikut:

7. Bentuk reservoir adalah lingkaran dan terbatas (*Bounded Reservoir*) dan sumur berada tepat di tengah lingkaran.
8. Media berpori *uniform* dan isotropis serta harga  $S_w$  konstan disetiap titik.
9. Pengaruh gradien tekanan diabaikan.
10. Komposisi minyak dan gas konstan.
11. Tekanan pada fasa minyak dan gas sama.
12. Kondisi semi *steady state* di mana laju desaturasi minyak sama disetiap titik pada saat tertentu.

Mula-mula ditentukan terlebih dahulu perubahan saturasi terhadap tekanan yang dapat ditentukan dengan persamaan:



$$\frac{d\left(\frac{S_o}{B_o}\right)}{dP} = \frac{\left(\frac{S_o}{B_o}\right)\left\{\frac{B_g}{5,615B_o} \frac{dR_s}{dP} - \frac{1}{B_o} \frac{dB_o}{dP}\right\} + \left\{\frac{1-S_w}{B_o} - \frac{S_o}{B_o}\right\} B_g \left(\frac{d\left(\frac{1}{B_o}\right)}{dP}\right)}{1 + \frac{k_g \mu_o}{k_o \mu_g}} \dots\dots\dots (3.7)$$

dari persamaan (3.7) tersebut dapat ditentukan  $dS_o/dP$  dengan berdasarkan hal ini, perubahan tekanan dapat ditentukan dengan persamaan:

$$\frac{dk_{ro}}{dP} = \left(\frac{dk_{ro}}{dS_o}\right) \left(\frac{dS_o}{dP}\right) \dots\dots\dots (3.8)$$

Melihat persamaan yang digunakan serta cara pemecahannya, ternyata cara Weller tersebut cukup rumit dan tidak praktis serta memerlukan komputer. Selanjutnya, Vogel mengemukakan suatu cara yang lebih sederhana dibandingkan dengan metode Weller. Dasar pengembangan metode Vogel adalah persamaan Weller, yang menghasilkan suatu bentuk persamaan sebagai berikut:

$$\frac{q}{q_{max}} = 1 - 0,2 \left(\frac{P_{wf}}{P_s}\right) - 0,8 \left(\frac{P_{wf}}{P_s}\right)^2 \dots\dots\dots (3.9)$$

Atau

$$P_{wf} = 0,125 P_s \left[ \sqrt{81 - 80 \left(\frac{q}{q_{max}}\right) - 1} \right] \dots\dots\dots (3.10)$$

Persamaan Vogel dapat digunakan pada kondisi di mana reservoir memiliki tenaga pendorong *saturated dissolve gas drive reservoir* atau pada reservoir dengan saturasi gas meningkat dengan menurunnya tekanan reservoir.

Ada 3 kasus pada persamaan Vogel yang dapat dikembangkan, yaitu:

1. *Static Pressure* ( $P_s$ ) dan *Test Pressure* ( $P_{wf}$ ) berada di atas tekanan *Bubble Point* ( $P_b$ ).

PI dari sumur dapat dihitung dengan persamaan (3.1) dan besarnya *liquid rate* pada saat  $P_{wf}$  pada  $P_b$ :

$$q_b = PI (P_s - P_b) \dots\dots\dots (3.11)$$

*Maximum Oil Rate* ketika memproduksi 100% oil dapat dihitung dengan persamaan:

$$Q_o \max = q_b + \frac{PI \cdot P_b}{1,8} \dots\dots\dots (3.12)$$

Slope dari composite IPR dua fasa dapat dihitung dengan:

$$\text{Slope} = \frac{f_w \frac{0,001 \times q_o \max}{PI} + 0,125 f_o P_b \left( -1 + \sqrt{81 - \frac{80(0,999 q_o \max - q_b)}{q_o \max - Q_b}} \right)}{0,001 \times q_o \max} \dots\dots\dots(3.13)$$

2. Static Pressure (Ps) di atas Pb dan Pwf berada di bawah Pb.

PI initial dapat dihitung dengan persamaan:

$$PI_{initial} = \frac{q_{test}}{f_o \left\{ P_s - P_b + \frac{P_b \left[ 1 - 0,2 \left( \frac{P_{wf}}{P_s} \right) - 0,8 \left( \frac{P_{wf}}{P_s} \right)^2 \right]}{1,8} \right\} + f_w (P_s - P_{wf})} \dots\dots\dots (3.14)$$

3. Static Pressure (Ps) dan (Pwf) berada di bawah tekanan Bubble Point (Pb)

PI initial dapat dihitung dengan persamaan:

$$P_{initial} = \frac{q_{test}}{f_o \left\{ \frac{P_s \left[ 1 - 0,2 \left( \frac{P_{wf}}{P_s} \right) - 0,8 \left( \frac{P_{wf}}{P_s} \right)^2 \right]}{1,8} \right\} + f_w (P_s - P_{wf})} \dots\dots\dots (3.15)$$

### 3.4 Karakteristik Reservoir Lapangan X

Lapangan X PT. BOB Pertamina HULU mempunyai karakteristik reservoir sebagai berikut:

9. PI kecil (<0.3)
10. Tekanan Reservoir (Ps) = 300-600 Psi
11. Viskositas < 0,45 cp
12. Produktifitas Sumur atau Laju Produksi < 1000 Bpd
13. Minyak mengandung Aromatic
14. GOR 250 SCF/STB
15. Kedalaman sumur < 14000 ft
16. °API minyak 39-43

Berdasarkan karakteristik reservoir tersebut, didapatkan pengangkatan buatan tipe *Hydraulic Pumping Unit* (HPU) sebagai pengangkatan buatan yang paling tepat untuk diaplikasikan di Lapangan X.

**Tabel 3.1.** *Screening Criteria* untuk *Artificial Lift* <sup>1)</sup>

KARAKTERISTIK RESERVOIR	METODE PRODUKSI ARTIFICIAL LIFT					
	GAS LIFT		BEAM PUMP/HPU	ESP	PCP	HJP
	CONTINUOUS	INTERMITTENT				
GOR	Tinggi > 2000 SCF/STB	Rendah < 2000 SCF/STB	< 2000 SCF/STB	500-2000 SCF/STB	500-2000 SCF/STB	500-2000 SCF/STB
Temperatur	< 350 °F	< 350 °F	< 350 °F	< 250 °F	Max 200 °F	< 350 °F
Produktivitas Sumur	>10000 B/D	> 10000 B/D	< 1000 B/D	> 10000 B/D	1000-10000 B/D	< 10000 B/D
Viskositas	Bisa mencapai 1000 cp	Bisa mencapai 1000 cp	< 200 cp	< 200 cp	> 500 cp	> 500 cp
Water Cut	Bisa untuk <i>water cut</i> tinggi	Bisa untuk <i>water cut</i> tinggi	Rendah	Bisa untuk <i>water cut</i> tinggi	Rendah	Rendah
Kedalaman Sumur	> 14000 ft	> 14000 ft	Dangkal	> 14000 ft	Max 6550 ft	≤ 18000 ft
Kandungan Pasir	Tinggi	Tinggi	Rendah	Rendah	Rendah	Rendah

Konstruksi Sumur	Bisa untuk sumur miring	Bisa untuk sumur miring	<b>Vertikal / tegak</b>	Bisa untuk sumur miring	Bisa untuk sumur miring	Bisa untuk sumur miring
Mekanisme Pendorong	<i>Gas Cap Drive &amp; Solution Gas Drive</i>	<i>Gas Cap Drive &amp; Solution Gas Drive</i>	<i>Water Drive/ Solution Gas Drive</i>	<i>Water Drive</i>	<i>Water Drive</i>	<i>Water Drive</i>

### 3.6 Hydraulic Pumping Unit (HPU)



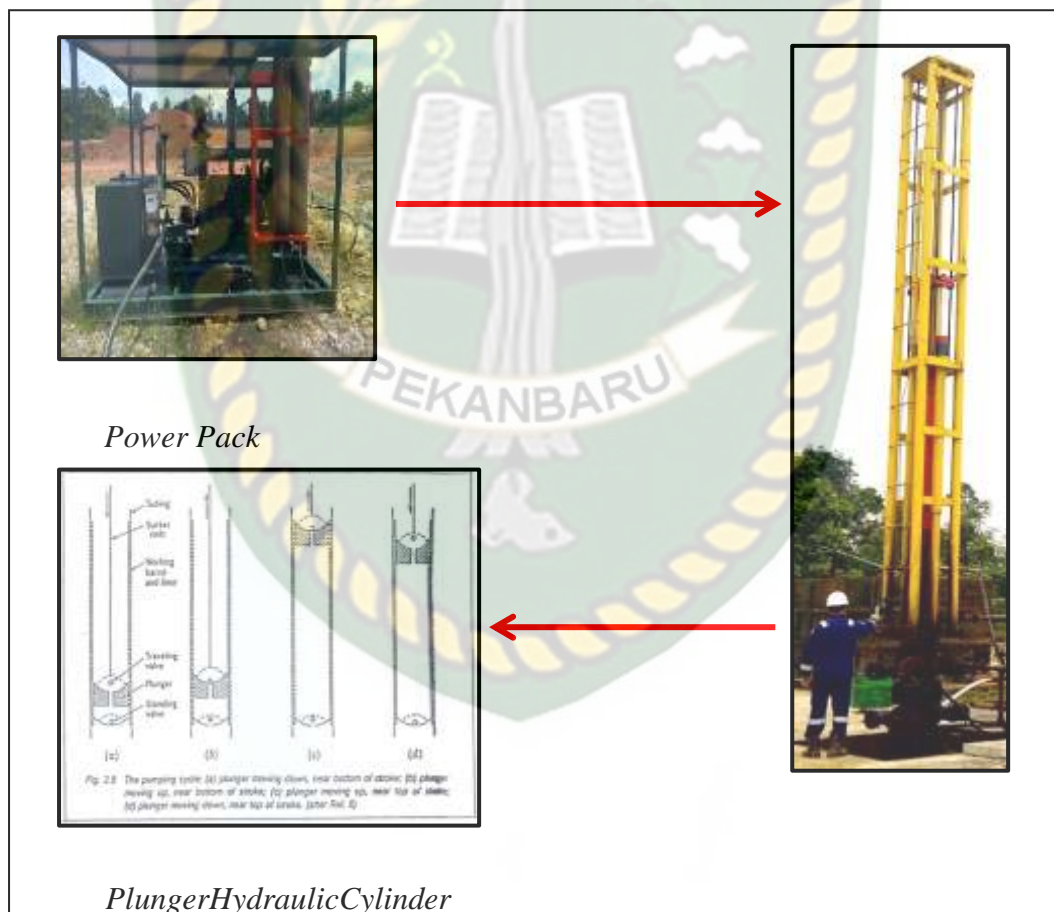
**Gambar 3.1.** *Hydraulic Pumping Unit (HPU)*

*Rod Pump* adalah merupakan salah satu metode pengangkatan buatan yang banyak digunakan saat ini, dimana untuk mengangkat minyak dari dalam sumur kepermukaan digunakan pompa dengan *rod* (tangkai pompa). Fungsi utama dari

pompa itu sendiri adalah untuk memuat (*load*) fluida dari formasi kedalam rangkaian alat produksi lalu kemudian mengangkatnya kepermukaan.

*Rod Pump* banyak digunakan di lapangan minyak dan dipakai untuk sumur-sumur lurus dan vertikal. *Rod Pump* yang ada pada lapangan X ini dikombinasikan dengan *Hydraulic Pumping Unit* (HPU) pada fasilitas permukaannya dan sangat dikenal di lapangan karena dapat menyesuaikan terhadap fluktuasi laju aliran produksi, tidak mudah rusak, mudah diperbaiki, biaya operasi dan biaya perawatan relatif lebih murah.

### 3.5.5 Prinsip Kerja *Hydraulic Pumping Unit* (HPU)



**Gambar 3.2.** Prinsip Kerja *Hydraulic Pumping Unit*

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

6. *Hydraulic fluid* bertekanan tinggi dari *power pack* dipompakan menuju ke *hydraulic cylinder* melalui *hydraulic hose* untuk mentransmisikan tekanan dari *hydraulic fluid* menjadi gerakan naik turun pada *hydraulic cylinder*.
7. Dari gerakan *hydraulic cylinder* tadi kemudian diteruskan oleh *polished rod* ke *sucker rod* dan ke *Plunger*, sehingga *Plunger* bergerak turun naik yang disebut gerakan langkah dari pompa.
8. Apabila *plunger* bergerak keatas (*up-stroke*), maka di bawah *plunger* akan terjadi penurunan tekanan, sehingga tekanan dasar sumur lebih besar dari tekanan dalam pompa, keadaan ini menyebabkan *standing valve* terbuka dan fluida masuk kedalam pompa.
9. Pada akhir *up-stroke*, volume di bawah *plunger* terisi penuh oleh cairan dan pada saat *plunger* bergerak kebawah (*down-stroke*), *standing valve* akan tertutup karena *plunger* menekan fluida, pada saat bersamaan fluida tersebut akan menekan *traveling valve*, sehingga menyebabkan fluida keluar dari *plunger* dan masuk ke *tubing*.
10. Proses tersebut berlangsung berulang kali, sehingga fluida pada *tubing* akan bergerak naik kepermukaan dan mengalir menuju *separator* melalui *flowline*.

### 3.5.6 Kelebihan dalam Penggunaan *Hydraulic Pumping Unit* (HPU)

9. HPU lebih mudah untuk dipindahkan dari satu sumur kesumur lain karena tidak memerlukan pondasi, dan teknis penyetelannya sederhana.
10. Perubahan Kecepatan Pemompaan (*Stroke per Minute/SPM*) dan panjang langkah (*Stroke Length*) lebih mudah. Dalam mengubah SPM tidak perlu mengganti *pulley* dan dalam penentuan *stroke length* tidak menggunakan alat berat untuk menggeser *crank pin* seperti pada pompa angguk.
11. Optimasi sumur dengan alat HPU dapat dilakukan secara tepat dan mudah dengan mengubah parameter kecepatan dan langkah pompa yang dapat dilakukan setiap saat dengan waktu yang lebih cepat, sehingga kehilangan produksi dapat diminimalkan.

12. Pengaturan langkah HPU lebih mudah karena tinggal mengubah *setting hydraulic*.
13. Pemakaian energi listrik lebih hemat dibandingkan pompa angguk.
14. Kehilangan produksi akan lebih dapat diminimalkan apabila pemasangan, pemindahan, dan pengaturan dapat dilakukan dengan lebih cepat.
15. Mengurangi resiko kebocoran *stuffing box* karena penempatan *hydraulic jack* lebih terpusat.
16. Biaya sewa lebih murah dibandingkan pompa angguk.

### **3.5.7 Kekurangan dalam Penggunaan *Hydraulic Pumping Unit* (HPU)**

4. Tidak cocok untuk produksi dalam jumlah besar.
5. Kedalaman sumur terbatas.
6. Kurang cocok untuk sumur miring dan lepas pantai.

### **3.5.8 Komponen Peralatan *Hydraulic Pumping Unit* (HPU)**

Berikut komponen peralatan HPU di atas permukaan dan di bawah permukaan, sebagai berikut :

#### **3.5.4.2. Peralatan di Atas Permukaan (*Surface Equipment*)**

##### **2. *Power Pack***

Berfungsi untuk memompakan oli hidrolik menuju ke *cylinder hydraulic* yang berada di menara untuk mengangkat beban. Yang terdiri dari komponen-komponen berikut ini:

##### r. *Gas Engine*

Merupakan alat untuk *compression engine* yang mengubah energi kimia (gas) menjadi energi mekanik untuk menggerakkan pompa hidrolik.

##### s. *Flow Control Valve*

Digunakan untuk mengontrol jumlah aliran *fluida*. Katup yang bawah membatasi penyebaran *fluida*, sedangkan yang atas membatasi seberapa cepat penghalang (*valve*) dibuka.

t. *Relief Valve*

Berfungsi untuk menjaga tekanan yang ada di dalam sirkuit hidrolik dengan membatasi tekanan maksimum yang ada pada komponen-komponen di luar maupun di dalam sirkuit dari tekanan yang berlebihan sehingga mencegah kerusakan komponen. Saat terjadi tekanan berlebihan maka katup *relief valve* akan terbuka, sehingga oli bertekanan tinggi akan dikembalikan lagi ketangki yang memiliki tekanan rendah.

u. *Control Panel*

Merupakan pusat kontrol elektrik pada HPU.

v. *Hydraulic Oil Level Switch*

Berfungsi sebagai *safety shutdown system*, alat ini akan mematikan sistem jika oli dalam tangki berkurang dari level aman, sehingga dapat mencegah kerusakan pada pompa hidrolik.

w. *Manifold*

Rangkaian penghubung sirkuit hidrolik dari pompa hidrolik menuju *manifold block* dan DCV (*Direction Control Valve*).

x. *Valve Sirkulasi*

Berfungsi untuk mengatur oli hidrolik mengalir menuju sistem atau kembali ketangki.

y. *Directional Control Valve (DCV)*

Berfungsi untuk mengatur dan mengendalikan cairan hidrolik pada sistem.

z. *Pressure Gauge*

Menunjukkan *system pressure* HPU secara aktual. Standar operasi harus kurang dari 2000 psi.

aa. *Gate Valve*

*Gate valve* ini harus selalu dalam keadaan terbuka sebelum *power pack* dinyalakan.

bb. *Oil Pressure Gauge*

Berfungsi untuk mengetahui temperatur dari oli hidrolik yang berada di dalam tangki hidrolik.



cc. Tangki Oli Hidrolik

Berfungsi sebagai tempat penampungan oli hidrolik yang akan digunakan pada sistem hidrolik, 500 L Oli Hidrolik adalah kapasitas minimum pada tangki yang berfungsi untuk menjaga agar cairan hidrolik pada sistem tidak berada di bawah tekanan yang diizinkan. Tangki ini juga berfungsi untuk menghilangkan gelembung-gelembung udara yang ikut terbawa bersama oli. Dan untuk menjaga agar kondisi oli tetap baik selama operasi, tangki dilengkapi dengan saringan (*filter*) yang bertujuan untuk mencegah kotoran masuk ketangki. Ketika oli panas yang dikembalikan dari sistem akan didinginkan dengan cara menyebarkan panasnya berdasarkan pada luas permukaan tangki. Dan dibantu juga dengan *Cooler* yang berfungsi untuk mendinginkan oli hidrolik, kemudian dikembalikan kedalam tangki hidrolik.

dd. *Strainer*

Memiliki prinsip yang sama dengan filter, terbuat dari saringan kawat yang berukuran halus. Saringan ini berfungsi untuk memisahkan partikel kasar yang ada di dalam oli. Saringan ini di pasang di dalam tangki oli hidrolik pada saluran masuk kepompa. Karena *strainer* memiliki saringan yang halus maka secara berangsur-angsur sejalan dengan jam operasi HPU, pada *strainer* akan terjadi penyumbatan dan harus diganti secara berkala.

ee. *Filter* Oli Hidrolik

Terbuat dari kertas halus. Fungsinya memisahkan partikel-partikel halus yang ada di dalam oli, menapis kotoran, partikel logam. Sebab kotoran dapat menyebabkan cepat terjadinya keausan pompa hidrolik, *cylinder hydraulic* dan *valve*. Saringan (*filter*) ini berangsur-angsur akan buntu atau tersumbat sejalan dengan jam operasi mesin, sehingga perlu dilakukan pergantian secara berkala. *Filter* oli hidrolik ini dilengkapi dengan *bypass valve* sehingga bila *filter* terjadi kebuntuan atau tersumbat, oli hidrolik masih dapat mengalir ketangki. Hal ini dapat mencegah terjadinya tekanan yang berlebihan dan kerusakan sistem.

ff. *Hydraulic Hose*

Berfungsi mengalirkan fluida bertekanan tinggi dari *power pack* ke *hydraulic unit* dan sebaliknya juga mengalirkan *hydraulic fluid* bertekanan tinggi dari *hydraulic cylinder* kembali ke *power pack*.

gg. *Accumulator*

Berfungsi sebagai reservoir tekanan untuk menyimpan energi yang nantinya dapat dilepaskan menjadi energi dorong dengan bantuan gas Nitrogen bertekanan tinggi.

hh. *Counter Balance*

Sebagai kontrol tekanan balik yang berasal dari silinder hidrolik agar pendingin oli hidrolik di dalam *Cooler* menjadi lebih halus dan stabil sehingga pendingin oli akan lebih sempurna.

#### 4. **Menara Silinder Hidrolik**

Berfungsi untuk sebagai pondasi dari HPU yang juga tempat berdirinya *Hydraulic Cylinder* dan rangkaian pengangkat *Polished rod*. Yang terdiri dari komponen-komponen sebagai berikut :

k. *Menara dan Cylinder Hydraulic*

Menara berfungsi sebagai pondasi untuk *polished rod* saat beroperasi agar lebih kuat dan sentral sehingga kebocoran pada *stuffing box* dapat dihindari. *Cylinder hydraulic* mengubah tenaga *hydraulic* menjadi tenaga *mekanik* (gerak *vertikal*). Fluida yang ditekan akan menekan sisi piston *cylinder* sehingga *cylinder* akan bergerak secara mekanis. *Single acting cylinder* hanya mempunyai satu *port*, sehingga fluida bertekanan hanya masuk melalui satu saluran, dan menekan ke satu arah. Untuk gerakan kebawah atau *down-stroke* dapat dilakukan dengan cara membuka *valve* atau *cylinder* agar bergerak secara otomatis karena beban dan gaya gravitasi. Kecepatan gerakan *silinder* tergantung pada *flow rate* dan *volume* oli hidrolik yang menekan piston. *Cycle Time* adalah waktu yang dibutuhkan oleh *cylinder hydraulic* untuk melakukan gerakan

memanjang penuh. *Cycle Time* adalah hal yang sangat penting dalam mendiagnosa *problem hydraulic*.

l. *Base Plate*

Sebagai dudukan dasar dari menara, sehingga HPU sejajar penuh dengan sumur. Dikenal juga sebagai *sub plate*.

m. *Carrier bar* Besar

Berfungsi untuk menyambung kekuatan dua silinder.

n. *Carrier bar* Kecil

Berfungsi sebagai tempat bergantungnya *Plat Bridle*.

o. *Stud Bolt*

Berfungsi untuk menghubungkan *carrier bar* besar dengan *carrier bar* kecil dan sebagai alat untuk mengatur posisi lubang *plat bridle* dengan *bridle*.

p. *Bridle block*

Berfungsi sebagai penghubung antara *rod* HPU dan *pony rod* dari rangkaian sumur.

q. *Plat Bridle*

Yaitu dua buah plat yang berfungsi sebagai penghubung antara *bridle block* dengan *carrier bar* kecil.

r. *Clamp Polished rod*

Berfungsi sebagai penjepit *polished rod*, alat ini berada tepat diatas *bridle block*.

s. *Centralizer*

Berfungsi untuk menjaga pergerakan *cylinder* agar tetap pada jalurnya.

t. *Limit Switch*

Berfungsi sebagai pengatur batas ketika *up-stroke* dan *down-stroke*. Setiap menara hidrolik memiliki sepasang *limit switch*.

### 5. *Well Head*

Merupakan tempat menggantungnya *Tubing* dan *casing* atau tempat menggantungnya rangkaian di bawah permukaan. Komponen-komponennya adalah sebagai berikut :

e. *Flow Tee*

Berfungsi untuk mengalirkan fluida ke *flow line*.

f. *Flow Line*

Sebagai tempat mengalirnya fluida hasil pemompaan.

g. *Stuffing Box*

Merupakan tempat kedudukan *polished rod* sehingga *polished rod* dapat naik turun dengan bebas dan berfungsi untuk mengisolasi sumur dan mencegah agar fluida tidak ikut keluar waktu naik turunnya *polished rod*. Di dalam *stuffing box* terdapat *rubber*, satu berada di atas, empat ditengah dan dua di bawah.

h. *Tubing Hanger*

Berfungsi untuk tempat menggantungnya *Tubing* yang berada di bawah permukaan.

#### 3.5.4.2. Peralatan di Bawah Permukaan(*Subsurface Equipment*)

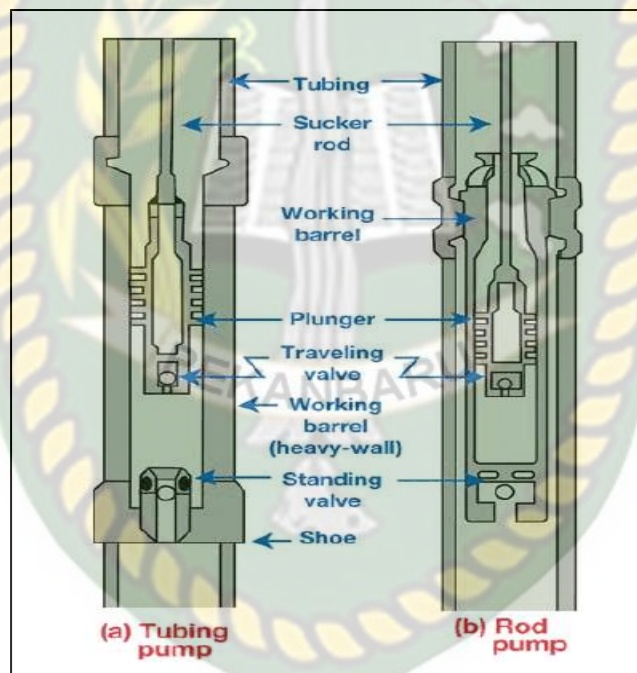
### 3. Pompa

#### b. *Rod Pump*

Unit pompa keseluruhan (*Working Barrel, Standing valve, Plunger, Seating Nipple, dan Traveling Valve*) dimasukkan kedalam sumur bersama-sama dengan *rod* melalui *Tubing*. Untuk keperluan reparasi dan pergantian pompa cukup dicabut *rod*-nya saja, dengan demikian seluruh unit pompa akan ikut terangkat keatas. Tipe pompa demikian sering digunakan pada sumur-sumur yang dalam. *Rod Pump*, posisi dari *Barrel* menyatu dengan *Sucker Rod* sehingga bila *Sucker Rod* dicabut saat perbaikan maka *Barrel* akan ikut tercabut.

d. **Tubing Pump**

Tipe pompa semacam ini dimasukkan kedalam sumur bersama-sama dengan *Tubing*, sedangkan *Plunger* dan *Traveling Valve* diikatkan pada ujung bawah dari *RodString* dan diturunkan sampai *Standing Valve*. Apabila pompa hendak dicabut baik *Rod String* maupun *Tubing* harus dicabut pula bersama-sama. Tipe ini sering digunakan pada sumur-sumur dangkal dengan produktifitas kecil. Dikatakan *Tubing Pump* karena posisi *Barrel* dari pompa menyatu dengan *Tubing* sehingga saat *Sucker Rod* dicabut pada saat perbaikan maka *Barrel* tetap berada di bawah tidak ikut tercabut.



Gambar 3.3. *Tubing Pump* dan *Rod Pump* <sup>2)</sup>

4. **Rod String**

*Rod String*, merupakan rangkaian string yang menghubungkan *subsurface pump* dan instalasi pompa dipermukaan.

a. **Sucker Rod**

*Sucker rod*, merupakan batang penghubung antara *Plunger* dengan peralatan dipermukaan. Fungsi utamanya adalah

melanjutkan gerak naik turun. Umumnya panjang satu *single* dari *sucker rod* yang sering digunakan adalah 25 – 30 ft.

**Tabel 3.2.** Spesifikasi *Sucker Rod* <sup>2)</sup>

<i>Diameter Rod</i>	<i>inch</i>	1/2	5/8	3/4	7/8	1	1 1/8
	mm	12,7	15,87	19,05	22,22	25,4	28,57
<i>Diameter Coupling</i>	<i>inch</i>	1	1,5	15/8	1 13/16	2 3/16	23/8
	mm	25,40	38,05	41,30	46,75	58,75	60,30
Luas Penampang	<i>inch</i> <sup>2</sup>	0,196	0,307	0,442	0,601	0,785	0,994
<i>Rod</i>	cm <sup>2</sup>	1,26	1,98	2,85	3,86	5,06	6,41
Berat <i>Rod</i>	lb/ft	0,68	1,14	1,62	2,17	2,88	3,67
<i>Coupling</i>	kg/m	1,03	1,73	2,45	2,85	4,30	5,46

**b. Pony Rod**

*Pony rod*, merupakan rod yang mempunyai panjang yang lebih pendek dari panjang rod umumnya (<25ft). Fungsinya untuk melengkapi panjang dari *sucker rod*, panjang *Pony Rod* yang adalah 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10 dan 12 ft.

**c. Polished Rod**

*Polished rod*, merupakan tangkai rod yang berada diluar sumur yang menghubungkan *sucker rod string* dengan *carrier bar* dan dapat naik turun di dalam *stuffing box*. Diameter *stuffing box* lebih besar dari diameter *polished rod*. Panjang *polished rod* adalah 8, 11, 16, dan 22 ft. Diameternya, 1 1/4 , 1 1/2 , 1 1/8 , dan 1 3/4.

**d. Tubing**

*Tubing*, merupakan pipa untuk produksi dan bisa dipindah atau diganti tidak seperti casing. *Tubing* berfungsi seperti tempat

mengalirnya fluida produksi sampai ke permukaan. Pada *artificial lift*, *Tubing* juga berfungsi sebagai tempat menggantungnya pompa.

**Tabel 3.3.** Spesifikasi *Tubing* <sup>2)</sup>

Nominal, <i>inch</i>	OD, <i>inch</i>	ID, <i>inch</i>	Metal Area, <i>square inch</i>
1,9	1,9	1,610	0,8
2 3/8	2,375	1,995	1,304
2 7/8	2,875	2,441	1,812
3 1/2	3,5	2,992	2,590
4	4	3,476	3,077
4 1/2	4,5	3,968	3,601

#### 11. *Working Barrel*

Merupakan tempat dimana *plunger* dapat bergerak naik turun sesuai dengan langkah pemompaan dan menampung fluida sebelum diangkat oleh *plunger* pada saat *up-stroke*.

Menurut standart API ada dua jenis *barrel*, yaitu :

- c. *Liner Barrel*, biasanya jenis ini diberi simbol (L).
- d. *Full Barrel*, yaitu terdiri dari satu bagian yang utuh dan kuat, biasanya jenis ini diberi simbol (H) untuk *Heavy-Wall* dan ( W ) untuk *Thin-Wall*.

#### 12. *Plunger*

Merupakan torak atau tangkai pompa yang terletak di dalam *working barrel*, apabila *plunger* ditarik keatas (*up-stroke*) maka fluida akan masuk kedalam *working barrel* melalui *standing valve*, sedangkan sewaktu *plunger* diturunkan (*down-stroke*) fluida akan keluar keatas melalui *traveling valve*. Pada *plunger* ini terdapat *ball* dan *seat*, yang berfungsi sebagai katup.

**Tabel 3.4.** Spesifikasi *Plunger*<sup>2)</sup>

Diameter, <i>inch</i>	Area ( <i>inch</i> <sup>2</sup> )	Konstanta Pompa (bbl/hari/spm)
1	0,785	0,116
1 1/16	0,886	0,131
1 1/4	1,227	0,182
1 1/2	1,767	0,262
1 3/4	2,405	0,357
1 15/22	2,488	0,369
2	3,142	0,466
2 1/4	3,976	0,59
2 1/2	4,909	0,728
2 3/4	5,94	0,881
3 3/4	11,045	1,639
6 3/4	17,721	2,63

**13. *Standing Valve***

Merupakan katup yang terdapat di bagian bawah *working barrel* yang berfungsi memberi jalan masuk bagi fluida dari dalam sumur masuk ke *working barrel* (pada saat *up-stroke*, *standing valve* terbuka) dan untuk menahan fluida agar tidak keluar dari *working barrel* pada saat *plunger* bergerak kebawah (pada saat *down-stroke*, *standing valve* tertutup).

*Standing valve* terdiri dari sebuah bola besi dan tempat dudukan (*ball and seat*). *Standing Valve* ini mempunyai peranan yang sangat penting dalam sistem pemompaan karena efisiensi volumetris pemompaan sangat tergantung pada cara kerja dari *ball and seat*-nya. Ketepatan membuka dan menutup dengan gerak naik turun *plunger* sangat menentukan efisiensi volumetris pemompaan.



#### 14. *Traveling Valve*

Merupakan *ball and seat* yang terletak pada bagian bawah dari *plunger* dan akan ikut bergerak keatas dan kebawah menurut gerakan *plunger*.

Fungsinya :

3. Mengalirkan atau memindahkan fluida dari *working barrel* masuk ke *plunger*, hal ini terjadi pada saat *plunger* bergerak kebawah.
4. Menahan fluida pada saat *plunger* bergerak keatas sehingga fluida tersebut dapat dipindahkan ke *tubing* untuk selanjutnya dialirkan ke permukaan.

#### 15. *Joint Tubing*

Merupakan *Tubing* yang berukuran lebih pendek dari ukuran *Tubing* normal yang bertujuan sebagai penambah dari panjang *tubing* sehingga panjang yang diinginkan dapat tercapai.

#### 16. *Seating Nipple*

Merupakan tempat kedudukan dari *standing valve* sehingga *standing valve* tidak terlepas pada saat *up-stroke* dan *down-stroke*. *Seating nipple* biasanya digunakan pada pompa jenis *rod pump*.

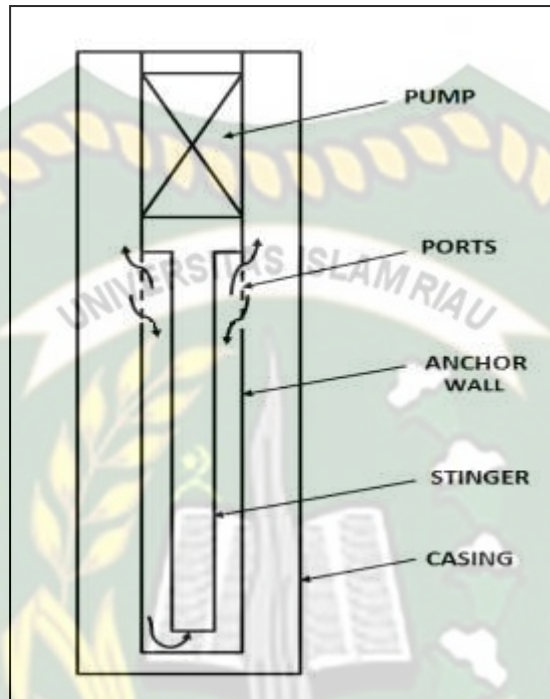
#### 17. *Tubing Nipple*

Berfungsi sebagai tempat kedudukan dari *Standing Valve* sehingga *Standing Valve* tidak terlepas pada saat *up-stroke* dan *down-stroke*. *Tubing Nipple* dipasang bersamaan dan menyatu dengan *tubing* dan digunakan pada pompa jenis *Tubing Pump*.

#### 18. *Gas Anchor*

Merupakan komponen bagian bawah dari rangkaian pompa yang berfungsi untuk memisahkan gas dari fluida agar gas tersebut tidak ikut masuk kedalam pompa bersama-sama dengan fluida. Dengan banyaknya gas yang masuk kedalam pompa dapat menyebabkan terjadinya gas *pound* atau gas *lock*. Ada tiga tipe Gas *Anchor*, yaitu :

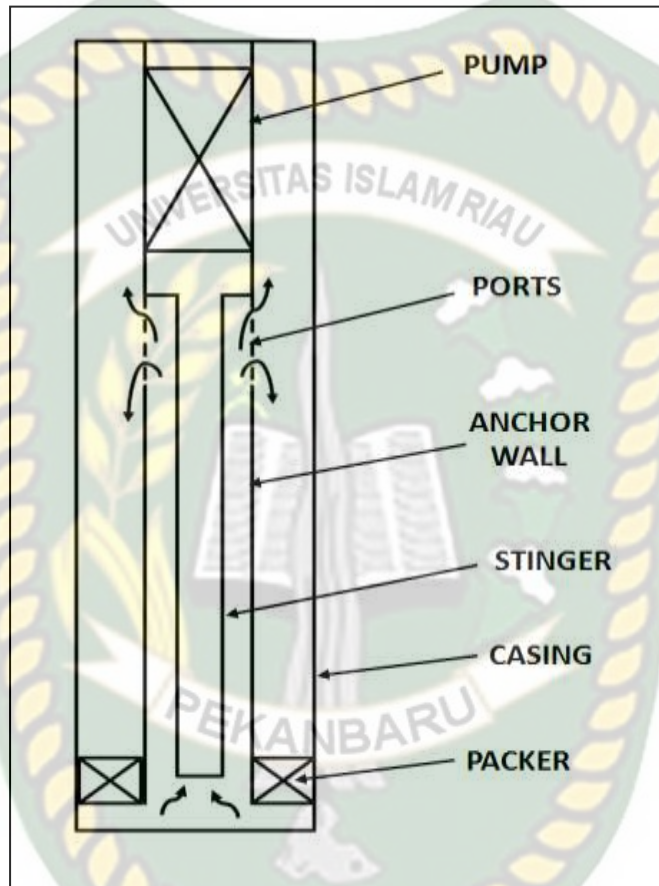
#### 4. *Poorman Type*



Gambar 3.4. Gas Anchor Poorman Type <sup>3)</sup>

Larutan gas dalam minyak yang masuk kedalam *Anchor* akan melepaskan diri dari larutan. Fluida akan masuk kedalam *Barrel* melalui *Suction Pipe*, sedangkan gas yang telah terpisah akan dialirkan melalui *annulus*. Apabila *Suction Pipe* terlalu panjang atau diameternya terlalu kecil, maka akan terjadi *Pressure Loss* yang cukup besar sehingga menyebabkan terjadinya penurunan PI sumur pompa. Sedangkan apabila *Suction Pipe* terlalu besar akan menyebabkan *annulus* antara dinding *Anchor* dengan *Suction Pipe* menjadi lebih kecil, sehingga kecepatan aliran minyak besar dan akhirnya gas masih terbawa oleh butiran-butiran minyak. Diameter gas *anchor* yang besar akan menyebabkan penurunan PI sumur pompa.

5. *Packer Type*



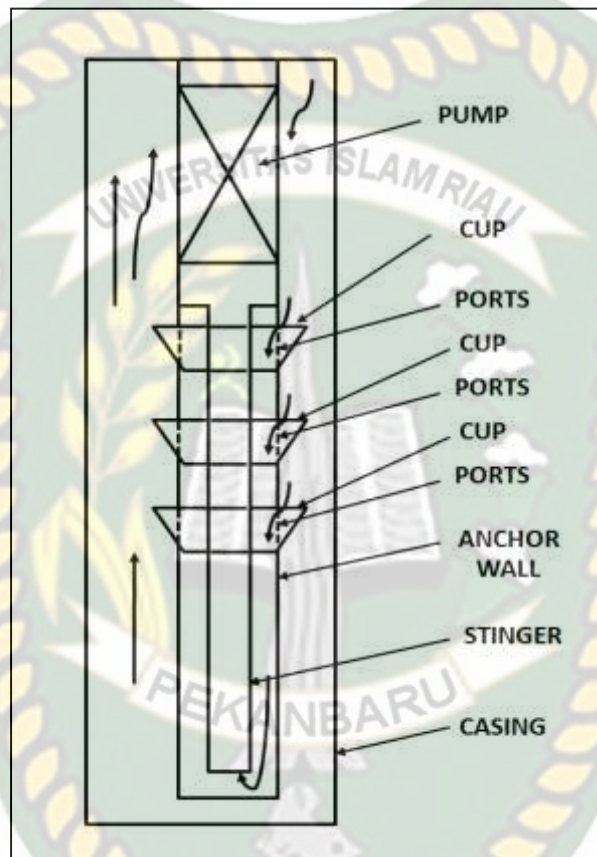
Gambar 3.5. Gas Anchor Packer Type <sup>3)</sup>

Minyak masuk melalui ruang antara dinding *Anchor* dan *Suction Pipe*, kemudian minyak jatuh di dalam *annulus* antara *casing* dan gas *Anchor* dan ditahan oleh *Packer*, selanjutnya minyak masuk kepompa melalui *suction pipe*. Disini minyak yang masuk kedalam annulus sudah terpisah dari pompa.

6. *Cup Anchor*

Larutan (minyak dan gas) bergerak sepanjang casing bagian dalam dan terjadi pemisahan akibat beda berat jenis. Setelah

mencapai *anchor* arah aliran di alihkan agar larutan masuk kedalam *cup*. Akibat perubahan arah aliran terjadi pemisahan lagi. Cairan minyak yang terkumpul pada *cup* selanjutnya masuk kedalam pompa.



Gambar 3.6. Gas Anchor Cup Type <sup>3)</sup>

### 3.8 Permasalahan yang sering terjadi, analisa dan *Trouble shooting* pada HPU

Tabel 3.5. Permasalahan HPU<sup>4)</sup>

No.	Masalah	Analisa	Solusi
1	HPU Mati	Periksa Level Oli Hidraulik	Tambahkan oli hidraulik hingga jarum pembaca <i>Murphy LevelSwitch</i> menunjukkan "full"

	HPU Mati (Lanjutan)	Hidrolik Silinder melewati <i>limit switch</i>	Tes Relay, ganti relay apabila sudah tidak berfungsi sebagaimana mestinya
		Periksa beban sumur dengan melihat tekanan hidrolik	Naikkan tekanan hidrolik sampai batas ketentuan yang diizinkan dalam pengoperasian HPU
		<i>Limit switch</i> dan kabel	Tes <i>limit switch</i> dan kabel, segera ganti apabila terjadi kerusakan
		<i>Supply</i> bahan bakar tidak cukup	Periksa tekanan gas dan <i>setting</i> karburator
		<i>Fuel supply</i> tersumbat	Ganti <i>line supply</i>
2	HPU tidak dapat mengang- kat beban	Periksa <i>valve</i> sirkulasi	Pastikan posisi <i>valve</i> dalam keadaan tertutup, ganti <i>valve</i> sirkulasi jika tidak dapat menutup dengan benar
		Periksa tekanan hidrolik (kurang tekanan)	Naikkan tekanan hidrolik sampai batas maksimum yang diizinkan
		Tekanan hidrolik sudah tinggi sesuai dengan ketentuan dalam mengoperasikan HPU	Lepas <i>briddle block</i> , naikkan secara perlahan tanpa ada beban, jika silinder dapat bergerak naik dan turun dalam keadaan normal, maka kemungkinan besar terjadi kelebihan beban, maka sebaiknya HPU dimatikan dan laporkan
			Terjadi <i>downhole problem (stuck)</i> , matikan mesin dan laporkan

3	<i>Counter Balance</i> tidak berfungsi normal (menimbulkan bunyi keras)	Kurang tekanan udara	Tambahkan tekanan udara
		Piston rusak	Ganti <i>seal piston</i>
4	Sensor <i>Limit Switch</i> tidak berfungsi normal ( <i>Hydraulic Jack</i> terus bergerak keatas atau kebawah melewati <i>limit switch</i> )	<i>Briddle</i> tidak menyentuh <i>limit switch</i>	Perbaiki posisi <i>limit switch</i> atau <i>briddle block</i>
		<i>Limit Switch</i> tidak berfungsi	Cek fungsi <i>limit switch</i> , jika rusak ganti yang baru
		Kabel putus	Periksa kabel dan sambungan kabel, jika rusak ganti, atau sambungkan kembali
5	<i>Low Level Hydraulic Oil</i>	Ada kebocoran	Periksa lokasi kebocoran dan perbaiki segera
			Tambahkan oli hidrolik sampai <i>murphy level</i> menunjukkan <i>full</i>
		Terjadi pencurian	Laporkan, tambahkan oli
6	Kebocoran pada koneksi	Adanya getaran sehingga koneksi menjadi longgar	Kencangkan koneksi

	DCV	O-ring rusak	Ganti dengan O-ring baru
7	<i>Pump Stuck</i>	Adanya pasir atau <i>scale</i>	<i>Rig Up</i> , cabut rangkaian tubing, ganti pompa baru
		<i>Working barrel</i> kempot	<i>Rig Up</i> , cabut rangkaian tubing, ganti barrel baru
8	<i>Ball</i> berbentuk oval	Akibat pasir, <i>scale</i> atau benturan	<i>Rig Up</i> , cabut tubing, ganti <i>ball &amp; seat</i> baru
9	<i>Stuffing box</i> bocor	Fluida keluar dari <i>stuffing box</i>	Matikan HPU, ganti <i>stuffing box</i> baru,
10	Rod Putus	Tidak ada produksi, tidak ada beban	<i>Rig Up</i> , cabut rangkaian tubing, ganti rod baru

### 3.9 Perawatan Rutin *Hydraulic Pumping Unit* (HPU)

**Tabel 3.6.** Perawatan Rutin *Hydraulic Pumping Unit* (HPU)

No	Jenis Pekerjaan		Frekuensi
1	Periksa filter hidraulik, apabila <i>clogging</i> indikator berada pada garis merah atau tekanan tinggi, maka segera ganti filter dengan yang baru		1 x 8 jam
2	Periksa <i>Oil Level Hydraulic</i>		1 x 8 jam
3	Periksa dan Catat Temperatur Hidraulik		1 x 8 jam
4	Periksa Level Oli Mesin		1 x 8 jam
5	Penggantian <i>filter</i> Hidraulik	<i>Power pack</i> baru/setelah <i>overhaul</i>	1 bulan sejak HPU beroperasi
		<i>Power Pack</i> lama	1 x 6 bulan
6	Ganti oli mesin		1 x 360 jam
7	Ganti oli <i>filter</i>		1 x 360 jam
8	Ganti saringan udara		1 x 6 bulan

9	Ganti oli hidraulik	1 x 6 bulan
10	Ganti <i>Engine Coolant</i> & bersihkan <i>radiator</i>	1 x 6 bulan

### 3.8 Efisiensi Volumetrik *Hydraulic Pumping Unit* (HPU)

Efisiensi volumetrik pompa didefinisikan sebagai perbandingan antara produksi yang diperoleh sebenarnya dengan *pump displacement* (V) teoritis. Besarnya harga efisiensi volumetrik (Ev) ini memberikan gambaran akan tingkat keberhasilan suatu instalasi pompa. Untuk menentukan besarnya efisiensi volumetrik ini perlu diketahui dahulu besarnya *pump displacement* yang secara matematis dituliskan sebagai berikut:

$$V = K \times Sp \times N \dots\dots\dots (3.16)$$

Keterangan:

- V = *Pump displacement*, bbl/day
- K = Konstanta pompa
- Sp = Panjang langkah *plunger* efektif, *inch*
- N = Kecepatan pompa, SPM

Harga K untuk bermacam-macam ukuran *diameter plunger* dapat dihitung dengan persamaan:

$$K = 0,1484 \times Ap \dots\dots\dots (3.17)$$

Jika jumlah cairan yang dapat diangkat adalah q, bbl/day, maka efisiensi volumetrik pompa adalah:

$$Ev = \frac{q}{V} \times 100 \% \dots\dots\dots (3.18)$$

Dalam merencanakan pompa biasanya efisiensi volumetrik (Ev) dipilih sekitar 60-80 %, akan tetapi hal ini jarang tercapai.

Evaluasi efisiensi volumetrik dimaksudkan untuk mengontrol produksi sumur pada suatu lapangan untuk mengetahui penyebab penurunan produksi. Penurunan tekanan dan adanya permasalahan pada sumur yang dapat menyebabkan penurunan laju produksi terhadap kapasitas pompa yang mengakibatkan rendahnya efisiensi volumetrik pompa. Dengan demikian perlu dilakukan perubahan kondisi operasi pompa untuk peningkatan laju produksi.

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



5. Menghitung faktor percepatan ( $\alpha$ )
6. Menghitung panjang Efektif *plunger stroke* ( $S_p$ )
7. Menghitung *Pump Displacement* ( $V$ )
8. Menghitung efisiensi volumetrik pompa ( $E_v$ )

**Langkah Perhitungan :**

**3.8.2. Perhitungan IPR Sumur**

Untuk mengetahui kemampuan suatu sumur untuk berproduksi dapat dilihat dari kurva IPR sumur tersebut. Untuk perhitungan kurva IPR di lapangan X digunakan metode Vogel.

Berikut adalah langkah-langkah perhitungan IPR berdasarkan perhitungan Kermith Brown:

1. **Productivity Index (PI)**

$$PI = \frac{Q_t}{(P_s - P_{wf})} \dots\dots\dots (3.19)$$

2. **Laju Alir Maksimum (Qmax)**

$$Q_{max} = \frac{Q_o}{\left(1 - 0,2 \times \left(\frac{P_{wf}}{P_s}\right) - 0,8 \times \left(\frac{P_{wf}}{P_s}\right)^2\right)}, \text{ BFPD} \dots\dots\dots (3.20)$$

3. **Menghitung harga Q untuk setiap Pwf yang berbeda-beda (Pwf asumsi)**

$$Q_o = Q_{max} \times \left(1 - 0,2 \times \left(\frac{P_{wf}}{P_s}\right) - 0,8 \times \left(\frac{P_{wf}}{P_s}\right)^2\right), \text{ BOPD} \dots\dots\dots (3.21)$$

Dengan rumus tersebut dapat ditentukan laju produksi (Q) untuk berbagai harga Pwf yang diasumsikan. Hasil perhitungan dibuat dalam bentuk tabel.

4. **Membuat kurva IPR dengan memplot antara harga Q vs Pwf.**

**3.8.2. Perhitungan Evaluasi Efisiensi**

14. Menghitung *Water Cut* dan *Oil Cut*

$$W_c = \left(\frac{Q_t - Q_o}{Q_t}\right) \times 100\% \dots\dots\dots (3.22)$$

$$O_c = 1 - W_c \dots\dots\dots (3.23)$$

Keterangan :

$Q_t$  = Laju Produksi Total, BFPD  
 $Q_o$  = Laju Produksi Minyak, BOPD

15. Menghitung *Specific Gravity* (SG) fluida dan Gradien Fluida (GF)

$$SG \text{ fluida} = (W_c \times SG \text{ water}) + (O_c \times SG \text{ oil}) \dots \dots \dots (3.24)$$

$$GF = SG \text{ fluida} \times 0,433 \dots \dots \dots (3.25)$$

Keterangan :

$SG \text{ water}$  = 1,0270  
 $SG \text{ oil}$  = 0,8169  
 $GF$  = Gradien Fluida

16. Perhitungan IPR Model Vogel

$$PI\text{-gross} = \frac{Q_{gross}}{(P_s - P_{wf})} \dots \dots \dots (3.26)$$

$$Q_{max\text{-gross}} = \frac{Q_{gross}}{\left(1 - 0,2 \times \left(\frac{P_{wf}}{P_s}\right)\right) - 0,8 \times \left(\frac{P_{wf}}{P_s}\right)^2}, \text{ BFPD} \dots \dots \dots (3.27)$$

$$PI\text{-nett} = \frac{Q_{nett}}{(P_s - P_{wf})} \dots \dots \dots (3.28)$$

$$Q_{max\text{-nett}} = \frac{Q_{nett}}{\left(1 - 0,2 \times \left(\frac{P_{wf}}{P_s}\right)\right) - 0,8 \times \left(\frac{P_{wf}}{P_s}\right)^2}, \text{ BOPD} \dots \dots \dots (3.29)$$

17. Menghitung Luas *Plunger* ( $A_p$ )

$$A_p = 0,25 \times \pi \times (d_p)^2, \text{ inch}^2 \dots \dots \dots (3.30)$$

18. Menghitung Luas *Top Rod* ( $A_r$ )

$$A_r = 0,25 \times \pi \times (d_r)^2, \text{ inch}^2 \dots \dots \dots (3.31)$$

19. Menghitung Luas *Tubing* ( $A_t$ )

$$A_t = 0,25 \times \pi \times (d_t)^2, \text{ inch}^2 \dots \dots \dots (3.32)$$

20. Menghitung Faktor Percepatan ( $\alpha$ )

$$\alpha = \frac{S \times N^2}{70500} \dots \dots \dots (3.33)$$

21. Menghitung *Plunger Over Travel* ( $e_p$ )

$$E_p = \frac{46,5 \times L^2 \times \alpha}{E}, \text{ inch} \dots \dots \dots (3.34)$$

22. Menghitung Perpanjangan *Tubing* ( $e_t$ ) dan *Rod String* ( $e_r$ )

$$e_t = \frac{5,20 \times SG_{fluid} \times DFL \times A_p \times L}{E \times A_t}, \text{ inch} \dots\dots\dots (3.35)$$

$$e_r = \frac{5,20 \times SG_{fluida} \times DFL \times A_p \times L}{E \times A_r}, \text{ inch} \dots\dots\dots (3.36)$$

23. Menghitung Efektif *Plunger Stroke* ( $S_p$ )

$$S_p = S + e_p - (e_t + e_r), \text{ inch} \dots\dots\dots (3.37)$$

24. Menghitung Konstanta Pompa ( $K$ )

$$K = 0,1484 \times A_p \dots\dots\dots (3.38)$$

25. *Pump Displacement* ( $V$ )

$$V = K \times S_p \times N, \text{ BPD} \dots\dots\dots (3.39)$$

26. Mengitung Efisiensi Volumetrik Pompa ( $E_v$ )

$$E_v = \frac{Q_t}{V} \times 100 \% \dots\dots\dots (3.40)$$

### 3.8.3 Perhitungan Optimasi *Hydraulic Pumping Unit* (HPU)

Setalah dilakukan evaluasi terhadap kinerja pompa dan diketahui potensi dari sumur yang dianalisa, dilakukan optimasi pompa agar didapatkan hasil produksi lebih optimum. Sumur dengan kinerja pompa kurang baik, yang ditandai dengan efisiensi volumetrik yang rendah dalam memproduksi fluida, memerlukan perubahan parameter pompa agar dapat menghasilkan produksi secara optimum.

Berikut adalah langkah-langkah perhitungan Optimasi Pompa *Sucker Rod*:

13. Menentukan besarnya harga  $K$

$$K = 0,1484 \times A_p \text{ (bpd/in/spm)} \dots\dots\dots (3.41)$$

14. Menentukan *Pump Intake Pressure* (PIP)

$$PIP = P_{wf} - G_f \times (\text{Mid Perforasi} - L), \text{ Psi} \dots\dots\dots (3.42)$$

15. Menentukan kedalaman pompa *optimum* ( $L_{opt}$ )

$$L_{opt} = DFL + \left( \frac{PIP - 0}{G_f} \right), \text{ ft} \dots\dots\dots (3.43)$$

16. Menentukan Berat *Rod* ( $W_r$ )

$$\begin{aligned}
 L &= L_1 + L_2 \\
 &= (\text{Joints} \times 25,065 \text{ ft}) + (\text{Joints} \times 25,065 \text{ ft}), \text{ ft} \dots\dots\dots (3.44)
 \end{aligned}$$

Berat *Rod* ( $W_r$ ):

$$W_r = (M_1 \times L_1) + (M_2 \times L_2), \text{ lbs} \dots\dots\dots (3.45)$$

17. Menentukan Berat *Fluida* ( $W_f$ )

$$W_f = 0,433 \times SG_{\text{fluida}} \times L \times A_p, \text{ lbs} \dots\dots\dots (3.46)$$

18. Menentukan konstanta  $a$ ,  $b$  dan  $c$  untuk menyelesaikan persamaan  $P = a + bq$  serta  $P = a + cq^2$  :

$$a = \frac{1}{A_p} \times \left[ W_f + (0,9 - 0,5063 \times SF) \times W_r - \left( \frac{T}{4} \times SF \times A_r \right) \right] \dots\dots\dots (3.47)$$

$$b = \frac{W_r \times N}{56400 \times K \times A_p} \times \left[ \left( (1 + (0,5625 \times SF)) + (1 - (0,5625 \times SF)) \right) \right], N \dots\dots\dots (3.48)$$

$$c = \frac{W_r}{45120 \times K^2 \times A_p \times S} \times \left[ \left( (1 + (0,5625 \times SF)) + (1 - (0,5625 \times SF)) \right) \right], /S \dots\dots\dots (3.49)$$

19. Dengan mensubstitusikan harga  $a$ ,  $b$  dan  $c$  ke dalam persamaan *pump intake*, maka akan diperoleh persamaan untuk menentukan:

18.10 *Stroke Per Minute* (SPM)

$$\begin{aligned} P_{i_1} &= a + bq \\ &= a + (b \times N) q \dots\dots\dots (3.50) \end{aligned}$$

18.11 *Stroke Length* (S)

$$\begin{aligned} P_{i_2} &= a + cq^2 \\ &= a + (c / S) q^2 \dots\dots\dots (3.51) \end{aligned}$$

20. Menentukan berbagai harga  $N$  dan mengasumsikan untuk beberapa harga  $q$  sehingga dapat diperoleh harga *Pump Intake* ( $P_i$ ).

21. Menentukan berbagai harga  $S$  (*Stroke Length, in*) dan mengasumsikan untuk beberapa harga  $q$  sehingga dapat diperoleh harga *Pump Intake* ( $P_i$ ).

22. Kemudian plot pasangan data  $(q, P_i)$  untuk setiap harga  $N$  dan  $S$  pada kurva IPR.

23. Dari perpotongan kurva IPR dan  $P_i$  didapatkan pasangan data laju alir untuk setiap harga *stroke per minute* ( $N, q$ ) dan laju alir untuk setiap harga *stroke Length* ( $S, q$ ) yang kemudian diplot sehingga diperoleh kurva hubungan antara  $N$  dan  $S$  terhadap  $q$ .

24. Menentukan *Peak Polished Rod Load* (PPRL) dan *Minimum Polished Rod Load* (MPRL):

$$c. \quad \alpha_1 = \left( \frac{S \times N^2}{70500} \right) \times (1 + 0,33) \dots\dots\dots (3.52)$$

$$PPRL = W_f + (0,9 + \alpha_1) \times W_r - P \times A_p, \text{ lb} \dots\dots\dots (3.53)$$

$$d. \quad \alpha_2 = \left( \frac{S \times N^2}{70500} \right) \times (1 - 0,33) \dots\dots\dots (3.54)$$

$$MPRL = (0,9 + \alpha_2) \times W_r, \text{ lb} \dots\dots\dots (3.55)$$

16. Menentukan *Stress Maximum* ( $S_{max}$ ) dan *Stress Minimum* ( $S_{min}$ ):

$$S_{max} = \frac{PPRL}{A_r}, \text{ psi} \dots\dots\dots (3.56)$$

$$S_{min} = \frac{MPRL}{A_r}, \text{ psi} \dots\dots\dots (3.57)$$

17. Menghitung *Stress Allowable* ( $S_A$ ):

$$S_A = \left[ \frac{T}{4} + 0,5625 \times S_{min} \right] \times SF, \text{ psi} \dots\dots\dots (3.58)$$

18. Setelah didapatkan harga N, S, q dan Pwf dari perhitungan di atas, selanjutnya dilakukan perhitungan efisiensi volumetrik pompa hasil optimasi, sebagai berikut:

1. Menghitung Faktor Percepatan ( $\alpha$ )

$$\alpha = \frac{S \times N^2}{70500} \dots\dots\dots (3.59)$$

2. Menghitung *Plunger Over Travel* ( $e_p$ )

$$e_p = \frac{46,5 \times L^2 \times \alpha}{E}, \text{ in} \dots\dots\dots (3.60)$$

3. Menghitung Perpanjangan *Tubing* ( $e_t$ ) dan *Rod String* ( $e_r$ )

$$e_t = \frac{5,20 \times SG_{fluida} \times DFL \times A_p \times L}{E \times A_t}, \text{ in} \dots\dots\dots (3.61)$$

$$e_r = \frac{5,20 \times SG_{fluida} \times DFL \times A_p \times L}{E \times A_r}, \text{ in} \dots\dots\dots (3.62)$$

4. Menghitung Efektif *Plunger Stroke* ( $S_p$ )

$$S_p = S + e_p - (e_t + e_r), \text{ in} \dots\dots\dots (3.63)$$

5. Menghitung Konstanta Pompa (K)

$$K = 0,1484 \times A_p \dots\dots\dots (3.64)$$

6. *Pump Displacement* (V)

$$V = K \times Sp \times N, \text{ BPD} \dots\dots\dots (3.65)$$

7. Menghitung Efisiensi Volumetrik Pompa (Ev)

$$Ev = \frac{Qt}{V} \times 100 \% \dots\dots\dots (3.66)$$



## BAB IV

### ANALISA DAN PENGOLAHAN DATA

Evaluasi efisiensi volumetrik dimaksudkan untuk mengontrol produksi sumur pada suatu lapangan untuk mengetahui penyebab penurunan produksi. Penurunan tekanan dan adanya masalah sumur dapat menyebabkan penurunan laju produksi terhadap kapasitas pompa yang mengakibatkan rendahnya efisiensi volumetrik pompa. Dengan demikian, perlu dilakukan perubahan kondisi operasi pompa untuk peningkatan laju produksi.

Sumur-sumur di lapangan X sebagian besar efisiensi volumetrik mengalami penurunan yang bervariasi. Efisiensi volumetrik merupakan indikasi kelayakan kapasitas pompa pada suatu periode tertentu. Keadaan ini dapat terjadi karena beberapa faktor mekanis maupun adanya masalah produksi. Setelah dilakukan evaluasi untuk mengetahui efisiensi volumetrik pompa yang digunakan dan menganalisis masalah yang ada pada sumur, dilakukanlah tahap optimasi terhadap sumur yang bermasalah. Dari perhitungan optimasi yang dilakukan diharapkan dapat meningkatkan produksi.

Salah satu faktor penting dalam perencanaan pompa adalah *pump displacement* (kapasitas pompa) yang sesuai dengan laju produksi yang diharapkan dan efisiensi pompa. Adapun parameter yang mempengaruhi banyaknya volume fluida yang diangkat oleh pompa adalah diameter *plunger* (*pump size*), *stroke length* (SL) dan kecepatan pompa (SPM).

Dalam melakukan perhitungan peningkatan produksi sumur digunakan analisa sistem Nodal (*Pump Intake Curve*). Hasil perhitungan akan dibandingkan dengan operasi saat ini dan dilanjutkan dengan perhitungan peningkatan produksinya.

#### 4.1. Perhitungan Evaluasi Efisiensi Volumetrik Sumur ZB#003

Secara garis besar prosedur perhitungan dalam evaluasi efisiensi volumetrik pompa adalah sebagai berikut:

9. Menghitung faktor percepatan ( $\alpha$ )

10. Menghitung panjang langkah *plunger* efektif
11. Menghitung *Pump Displacement*
12. Menghitung efisiensi volumetris pompa

Berikut adalah perhitungan efisiensi volumetrik *Hydraulic Pumping Unit* pada sumur ZB#003 dan ZRD#154, dengan data sumur sebagai berikut :

**SUMUR ZB#003**

1. <i>Pump Setting Depth</i> (L)	= 3300	ft
2. <i>Dynamic Fluid Level</i> (DFL)	= 2959	ft
3. <i>Static fluid level</i>	= 2614	ft
4. Laju Produksi Total (Qt)	= 60	BFPD
5. Laju Produksi Minyak (Qo)	= 40	BOPD
6. <i>Static Reservoir Pressure</i> (Ps)	= 295	psi
7. <i>Bottom-hole Reservoir Pressure</i> (Pwf)	= 161	psi
8. Kecepatan Pompa (N)	= 5	SPM
9. Panjang Langkah Pompa (S)	= 70	inch
10. <i>Pump Size/Diameter Plunger</i> (dp)	= 1,75	inch
11. Luas <i>Plunger</i> (Ap)	= 2,4	inch <sup>2</sup>
12. Diameter <i>Top Rod</i> (dr)	= 0,75	inch
13. Luas <i>Top Rod</i> (Ar)	= 0,44	inch <sup>2</sup>
14. <i>Inside Diameter Tubing</i> (dt)	= 2,44	inch
15. Luas <i>Tubing</i> (At)	= 1,81	inch <sup>2</sup>
16. <i>Top Perforation</i>	= 3360	ft
17. <i>Bottom Perforation</i>	= 3384	ft
18. <i>Mid Perforation</i>	= 3372	ft
19. Panjang <i>Rod</i> <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	= 60	jts.
20. Panjang <i>Rod</i> <sup>5</sup> / <sub>8</sub>	= 72	jts.
21. <i>SGoil</i>	= 0,82	
22. <i>SGwater</i>	= 1,03	
23. <i>Gradient Fluid</i> (GF)	= 0,38	
24. Konstanta Elastisitas (E)	= 3 x 10 <sup>7</sup>	



25. *Service Factor* (SF) = 0,35  
 26. *Tensile Strength* (T) = 115000

**i. Perhitungan IPR Sumur ZB#003 :**

Data dari sumur ZB#003 :

- a. *Working fluid level* (Wfl) : 2959 Ft  
 b. *Static fluid level* (Sfl) : 2614 Ft  
 c. *Top Perforation* : 3360 Ft  
 d. *Bottom Perforation* : 3384 Ft  
 e. *Mid Perforation* : 3372 Ft

Dari data diatas dapat dihitung :

$$\begin{aligned} \text{a. } P_s &= (\text{mid perforation} - \text{sfl}) \times 0,433 \times \left(\frac{wc}{100}\right) + \left(1 - \left(\frac{wc}{100}\right) \times 0,85\right) \\ &= (3372 - 2614) \times 0,433 \times \left(\frac{33}{100}\right) + \left(1 - \left(\frac{33}{100}\right) \times 0,85\right) \\ &= 295 \text{ Psi} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b. } P_{wf} &= (\text{mid perforation} - \text{wfl}) \times 0,433 \times \left(\frac{wc}{100}\right) + \left(1 - \left(\frac{wc}{100}\right) \times 0,85\right) \\ &= (3372 - 2959) \times 0,433 \times \left(\frac{33}{100}\right) + \left(1 - \left(\frac{33}{100}\right) \times 0,85\right) \\ &= 161 \text{ Psi} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{c. } PI &= \frac{Q}{(P_s - P_{wf})} \\ &= \frac{60}{(295 - 161)} \\ &= 0,45 \text{ BFPD/Psi} \end{aligned}$$

d. Laju Alir Maksimum (Qmax)

$$Q_o = Q_{\max} \times \left(1 - 0,2 \times \left(\frac{P_{wf}}{P_s}\right)\right) - 0,8 \times \left(\frac{P_{wf}}{P_s}\right)^2$$

$$\begin{aligned} Q_{\max} &= \frac{Q_o}{\left(1 - 0,2 \times \left(\frac{P_{wf}}{P_s}\right)\right) - 0,8 \times \left(\frac{P_{wf}}{P_s}\right)^2} \\ &= \frac{60}{\left(1 - 0,2 \times \left(\frac{161}{295}\right)\right) - 0,8 \times \left(\frac{161}{295}\right)^2} = 92 \text{ BFPD} \end{aligned}$$

**Menghitung harga Q untuk setiap Pwf yang berbeda-beda (Pwf asumsi)**

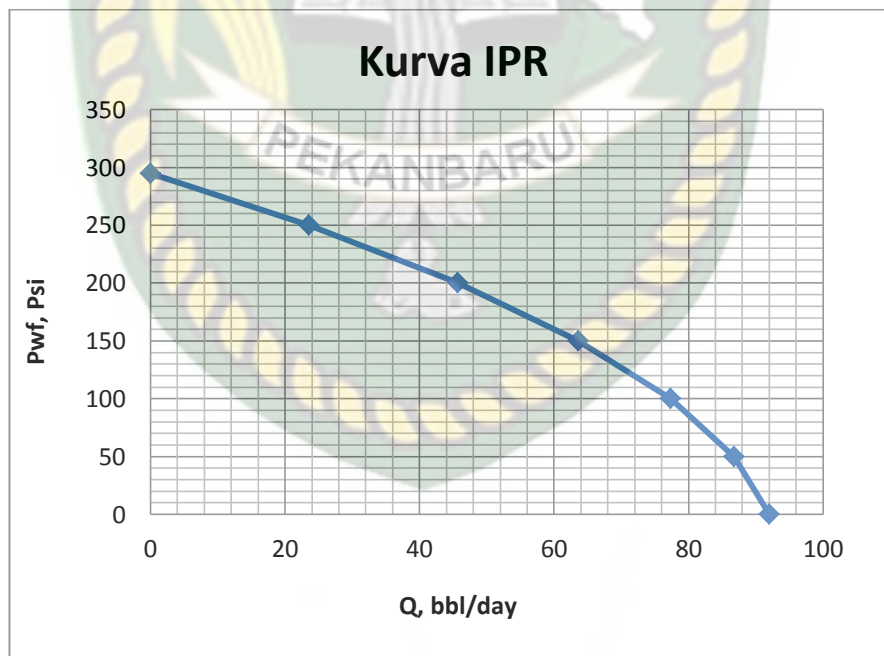
$$Q_o = Q_{\max} \times \left(1 - 0,2 \times \left(\frac{P_{wf}}{P_s}\right)\right) - 0,8 \times \left(\frac{P_{wf}}{P_s}\right)^2$$

Dengan rumus tersebut didapat harga Q untuk setiap Pwf yang diasumsikan.

**Tabel 4.1.** Penentuan Laju Produksi untuk Berbagai Harga Pwf pada Sumur ZB#003

Pwf	Q
295	0
250	23,54840563
200	45,69606435
150	63,61505315
100	77,30537202
50	86,76702097
0	92

Selanjutnya dengan membuat plot antara harga Q vs Pwf akan didapat kurva IPR sebagai berikut:



**Gambar 4.1.** Kurva IPR Sumur ZB#003

**ii. Perhitungan Evaluasi Efisiensi Volumetris Pompa Terpasang :**

1. Menghitung *Water Cut* dan *Oil Cut*

$$\begin{aligned} \text{a. } W_c &= \left( \frac{Q_t - Q_o}{Q_t} \right) \times 100 \% \\ &= \left( \frac{60 - 40}{60} \right) = 0,33 \times 100 \% = 33 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b. } O_c &= 1 - W_c \\ &= 1 - 0,33 = 0,67 \times 100 \% = 67 \% \end{aligned}$$

2. Menghitung *Specific Gravity* (SG) fluida dan Gradien Fluida (GF)

$$SG_{oil} = 0,82$$

$$\begin{aligned} \text{a. } SG_{fluida} &= (W_c \times SG_{water}) + (O_c \times SG_{oil}) \\ &= (0,33 \times 1,03) + (0,67 \times 0,82) = 0,89 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b. } GF &= SG_{fluida} \times 0,433 \\ &= 0,89 \times 0,433 = 0,38 \end{aligned}$$

3. Perhitungan IPR Metode Vogel

$$\begin{aligned} \text{a. } PI_{gross} &= \frac{Q_{gross}}{(P_s - P_{wf})} \\ &= \frac{60}{(295 - 161)} = 0,44 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b. } Q_{max-gross} &= \frac{Q_{gross}}{\left( 1 - 0,2 \times \left( \frac{P_{wf}}{P_s} \right) \right) - 0,8 \times \left( \frac{P_{wf}}{P_s} \right)^2} \\ &= \frac{60}{\left( 1 - 0,2 \times \left( \frac{161}{295} \right) \right) - 0,8 \times \left( \frac{161}{295} \right)^2} = 92 \text{ BFPD} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{c. } PI_{nett} &= \frac{Q_{nett}}{(P_s - P_{wf})} \\ &= \frac{40}{(295 - 161)} = 0,29 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{d. } Q_{max-nett} &= \frac{Q_{nett}}{\left( 1 - 0,2 \times \left( \frac{P_{wf}}{P_s} \right) \right) - 0,8 \times \left( \frac{P_{wf}}{P_s} \right)^2} \\ &= \frac{40}{\left( 1 - 0,2 \times \left( \frac{161}{295} \right) \right) - 0,8 \times \left( \frac{161}{295} \right)^2} = 61,29 \text{ BOPD} \end{aligned}$$

4. Menghitung Faktor Percepatan ( $\alpha$ )

$$\alpha = \frac{S \times N^2}{70500}$$

$$= \frac{70 \times 5^2}{70500} = 0.024$$

5. Menghitung *Plunger Over Travel* (Ep)

$$E_p = \frac{46,5 \times L^2 \times \alpha}{E}$$

$$= \frac{46,5 \times 3300^2 \times 0,024}{3 \times 10^7} = 0,41 \text{ inch}$$

6. Menghitung Perpanjangan *Tubing* (et) dan *Rod String* (er)

a. et

$$= \frac{5,20 \times SG \text{ fluida} \times DFL \times A_p \times L}{E \times A_t}$$

$$= \frac{5,20 \times 0,89 \times 2959 \times 2,4 \times 3300}{(3 \times 10^7) \times 1,81}$$

$$= 1,99 \text{ inch}$$

b. er

$$= \frac{5,20 \times SG \text{ fluida} \times DFL \times A_p \times L}{E \times A_r}$$

$$= \frac{5,20 \times 0,89 \times 2959 \times 2,4 \times 3300}{(3 \times 10^7) \times 0,44}$$

$$= 8,21 \text{ inch}$$

7. Menghitung Efektif *Plunger Stroke* (Sp)

$$S_p = S + e_p - (e_t + e_r)$$

$$= 70 + 0,41 - (1,99 + 8,21) = 60,2 \text{ inch}$$

8. Menghitung Konstanta Pompa (K)

$$K = 0,1484 \times A_p$$

$$= 0,1484 \times 2,4 = 0,35$$

9. *Pump Displacement* (V)

$$V = K \times S_p \times N$$

$$= 0,35 \times 60,2 \times 5 = 107,21 \text{ BPD}$$

10. Menghitung Efisiensi Volumetrik Pompa (Ev)

$$E_v = \frac{Q_t}{V} \times 100 \%$$

$$= \frac{60}{107,21} \times 100 \%$$

$$= 56 \%$$

iii. **Perhitungan Optimasi Sumur ZB#003 :**

1. Menentukan besarnya harga K

$$\begin{aligned}
 K &= 0,1484 \times A_p \\
 &= 0,1484 \times 2,4 = 0,35
 \end{aligned}$$

2. Menentukan kedalaman pompa optimum

$$\begin{aligned}
 PIP &= P_{wf} - G_f \times (Mid\ Perforasi - L) \\
 &= 161 - 0,38 \times (3372 - 3300) \\
 &= 133,25\text{ Psi}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L_{opt} &= DFL + \frac{(PIP-0)}{G_f} \\
 &= 2959 + \frac{(133,25-0)}{0,38} \\
 &= 3304,78\text{ ft}
 \end{aligned}$$

3. Menentukan Berat Rod (Wr)

	Rod	Ar, inch <sup>2</sup>	Berat (M), lb/ft	Joints
1	¾	0,442	1,62	60
2	⅝	0,307	1,14	72

$$L1 = Joints \times 25,065\text{ ft}$$

$$= 60\text{ joints} \times 25,065\text{ ft} = 1503,9\text{ ft}$$

$$L2 = Joints \times 25,065\text{ ft}$$

$$= 72 \times 25,065\text{ ft} = 1804,68\text{ ft}$$

$$L = L1 + L2$$

$$= 1503,9 + 1804,68 = 3308,58\text{ ft}$$

Berat Rod (Wr):

$$W_r = (M1 \times L1) + (M2 \times L2)$$

$$= (1,62 \times 1503,9) + (1,14 \times 1804,68) = 4490,64\text{ lbs}$$

4. Menentukan Berat Fluida (Wf)

$$W_{f1} = 0,433 \times G_f \times L1 \times A_p$$

$$= 0,433 \times 0,38 \times 1503,9 \times 2,4$$

$$= 602,27\text{ lbs.}$$

$$W_{f2} = 0,433 \times G_f \times L2 \times A_p$$

$$= 0,433 \times 0,38 \times 1804,68 \times 2,4$$

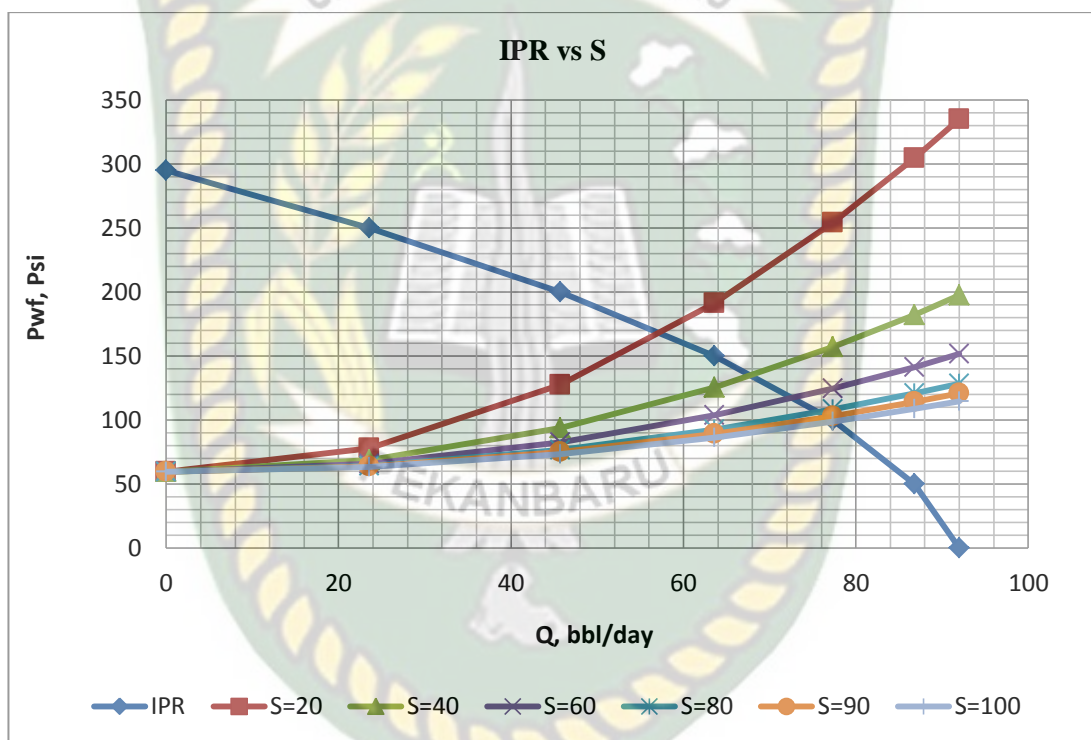
$$= 722,73\text{ lbs.}$$





23,548	77,732	68,721	65,717	64,215	63,714	63,314
45,696	127,574	93,642	82,331	76,676	74,790	73,282
63,615	191,233	125,471	103,551	92,590	88,937	86,014
77,305	253,933	156,821	124,451	108,265	102,870	98,554
86,767	304,386	182,048	141,268	120,879	114,082	108,645
92	334,79	197,25	151,403	128,48	120,838	114,726

10. Kemudian plot pasangan data (q,Pi) untuk setiap harga S pada kurva IPR Sumur ZB#003.



Gambar 4.3. Kurva IPR vs Pi untuk berbagai harga S

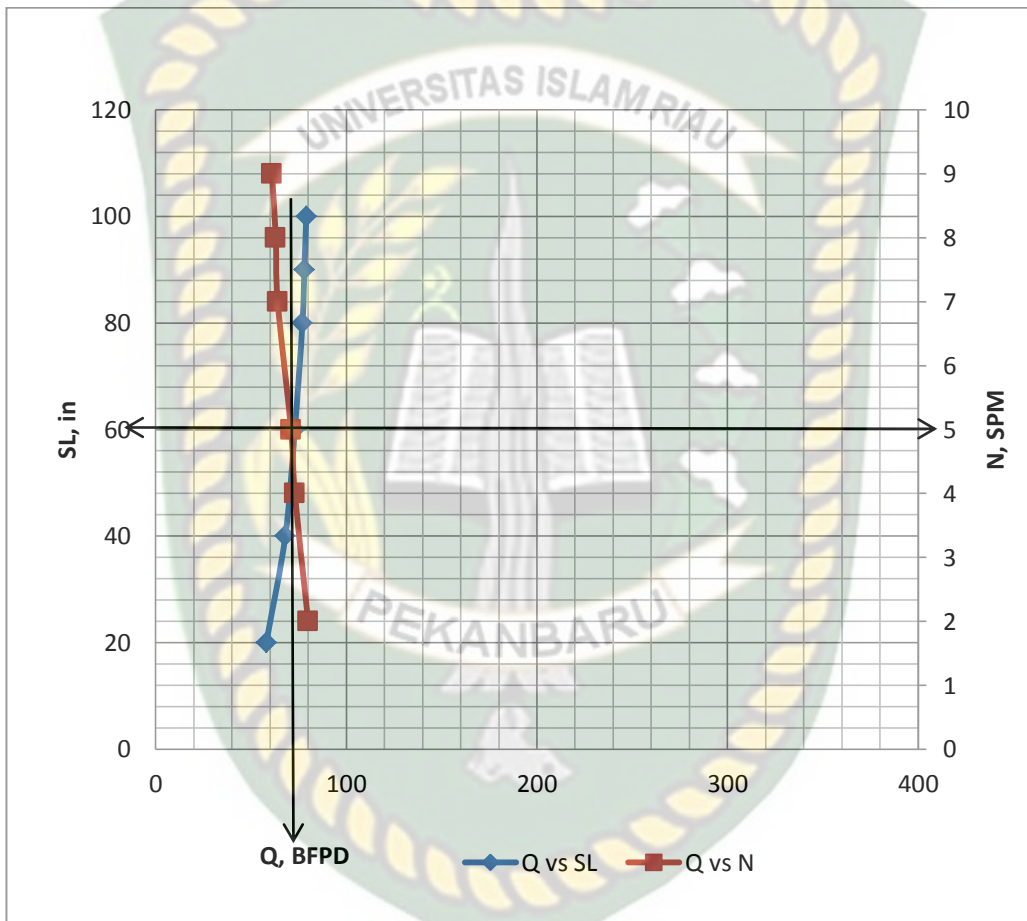
11. Dari perpotongan kurva IPR dan Pi didapatkan pasangan data laju alir untuk setiap harga *Stroke Per Minute* (N,q) dan laju alir untuk setiap harga *Stroke Length* (S,q) yang kemudian diplot sehingga diperoleh kurva hubungan antara N dan S terhadap q.

Tabel 4.4. Q untuk setiap harga N dan Q untuk setiap harga S

N. SPM	Q. Bpd	S. Inch	Q. Bpd
--------	--------	---------	--------



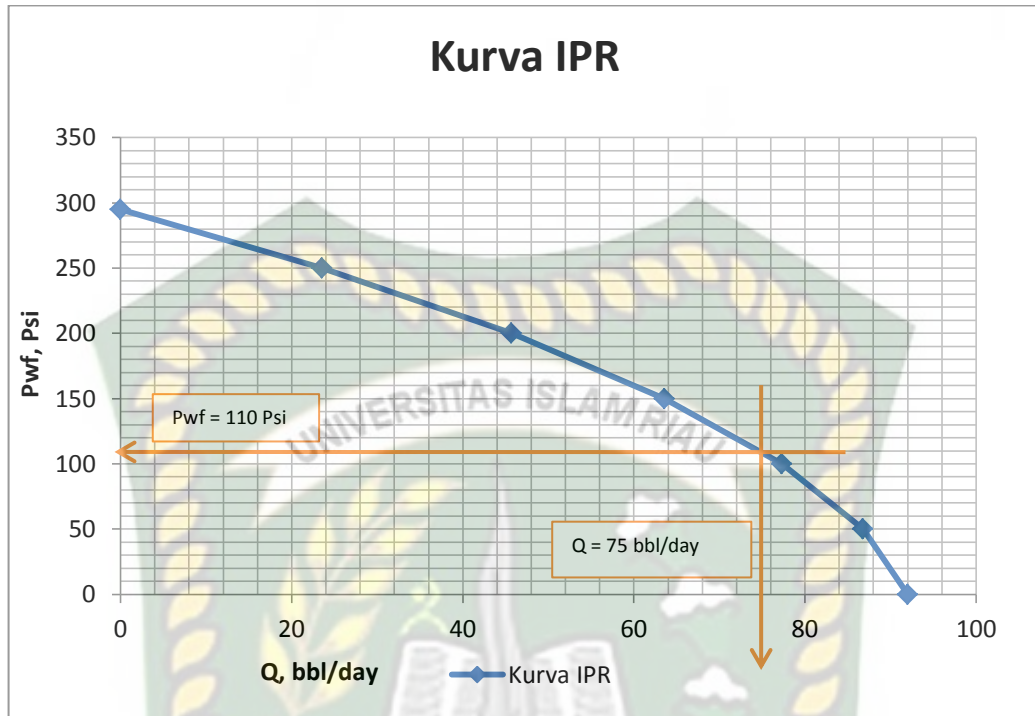
2	80	20	58
4	73	40	68
5	71	60	73
7	64	80	77
8	63	90	78
9	61	100	79



**Gambar 4.4.** Kurva Hubungan antara N dan S terhadap q

12. Dari kurva di atas didapat hasil optimasi sebagai berikut:

1. Kecepatan Pemompaan (N) = 5 SPM
2. Panjang Langkah (S) = 60 *inch*
3. Laju Alir (q) = 75 bpd
4. Pwf dari kurva IPR = 110 psi



**Gambar 4.5.** Kurva hasil optimasi

13. Menentukan *Peak Polished Rod Load (PPRL)* dan *Minimum Polished Rod Load (MPRL)*:

$$\begin{aligned}
 \text{a. } \alpha_1 &= (S \times N^2 / 70500) \times (1 + 0,33) \\
 &= (60 \times 5^2 / 70500) \times (1,33) = 0,028
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{PPRL} &= W_f + (0,9 + \alpha_1) \times W_r - P \times A_p \\
 &= 1325 + ((0,9 + 0,028) \times 4490,64) - (110 \times 2,4) \\
 &= 4773,66 \text{ lb}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{b. } \alpha_2 &= (S \times N^2 / 70500) \times (1 - 0,33) \\
 &= (60 \times 5^2 / 70500) \times (0,67) = 0,014
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{MPRL} &= (0,9 + \alpha_2) \times W_r \\
 &= (0,9 + 0,014) \times 4490,64 = 4105,59 \text{ lb}
 \end{aligned}$$

14. Menentukan *Stress Maximum (S<sub>max</sub>)* dan *Stress Minimum (S<sub>min</sub>)*:

$$\begin{aligned}
 S_{\text{max}} &= \text{PPRL} / A_r \\
 &= 4773,66 / 0,44 = 10849,23 \text{ psi}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{\text{min}} &= \text{MPRL} / A_r \\
 &= 4105,59 / 0,44 = 9330,90 \text{ psi}
 \end{aligned}$$

15. Menghitung *Stress Allowable* ( $S_A$ ):

$$\begin{aligned}
 S_A &= \left[ \frac{T}{4} + 0,5625 \times S_{\min} \right] \times SF \\
 &= \left[ \frac{115000}{4} + 0,5625 \times 9330,90 \right] \times 0,35 \\
 &= 11899,52 \text{ psi}
 \end{aligned}$$

16. Perhitungan efisiensi volumetrik pompa hasil optimasi:

1. Faktor Percepatan ( $\alpha$ )

$$\begin{aligned}
 \alpha &= (S \times N^2) / 70500 \\
 &= (60 \times 5^2) / 70500 \\
 &= 0,021
 \end{aligned}$$

2. *Plunger Over Travel* ( $ep$ )

$$\begin{aligned}
 ep &= (46,5 \times L^2 \times \alpha) / E \\
 &= (46,5 \times 3300^2 \times 0,021) / 3 \times 10^7 \\
 &= 0,36 \text{ inch}
 \end{aligned}$$

3. Perpanjangan *Tubing* ( $et$ ) dan *Rod String* ( $er$ )

$$\begin{aligned}
 et &= (5,20 \times SG \times DFL \times Ap \times L) / (E \times At) \\
 &= (5,20 \times 0,89 \times 2959 \times 2,4 \times 3300) / (3 \times 10^7 \times 1,81) \\
 &= 1,99 \text{ inch}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 er &= (5,20 \times SG \times DFL \times Ap \times L) / (E \times Ar) \\
 &= (5,20 \times 0,89 \times 2959 \times 2,4 \times 3300) / (3 \times 10^7 \times 0,44) \\
 &= 8,21 \text{ inch}
 \end{aligned}$$

4. *Efektif Plunger Stroke* ( $Sp$ )

$$\begin{aligned}
 Sp &= S + ep - (et + er) \\
 &= 60 + 0,36 - (1,99 + 8,21) \\
 &= 50 \text{ inch}
 \end{aligned}$$

5. *Pump Displacement* ( $V$ )

$$\begin{aligned}
 V &= K \times Sp \times N & K &= 0,1484 \times Ap \\
 &= 0,35 \times 50 \times 5 & &= 0,1484 \times 2,4 \\
 &= 89,3 \text{ BPD} & &= 0,35
 \end{aligned}$$

6. Efisiensi Volumetrik Pompa ( $Ev$ )

$$Ev = (q / V) \times 100 \%$$

$$= (75 / 89,3) \times 100 \%$$

$$= 84 \%$$

**b. Perhitungan Evaluasi Efisiensi Volumetrik Sumur ZRD#154**

**SUMUR ZRD#154**

1. <i>Pump Setting Depth</i> (L)	= 3265	ft
2. <i>Dynamic Fluid Level</i> (DFL)	= 2941	ft
3. <i>Static fluid level</i> (SFL)	= 2186	ft
4. Laju Produksi Total (Qt)	= 215	BFPD
5. Laju Produksi Minyak (Qo)	= 82	BOPD
6. <i>Static Reservoir Pressure</i> (Ps)	= 494	psi
7. <i>Bottom-hole Reservoir Pressure</i> (Pwf)	= 185	psi
8. Kecepatan Pompa (N)	= 8	SPM
9. Panjang Langkah Pompa (S)	= 70	inch
10. <i>Pump Size/Diameter Plunger</i> (dp)	= 2,25	inch
11. Luas <i>Plunger</i> (Ap)	= 3,97	inch <sup>2</sup>
12. Diameter <i>Top Rod</i> (dr)	= 0,75	inch
13. Luas <i>Top Rod</i> (Ar)	= 0,44	inch <sup>2</sup>
14. <i>Inside Diameter Tubing</i> (dt)	= 2,44	inch
15. Luas <i>Tubing</i> (At)	= 1,81	inch <sup>2</sup>
16. <i>Top Perforation</i>	= 3292	ft
17. <i>Bottom Perforation</i>	= 3498	ft
18. <i>Mid Perforation</i>	= 3392,5	ft
19. Panjang <i>Rod</i> <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	= 50	jts.
20. Panjang <i>Rod</i> <sup>5</sup> / <sub>8</sub>	= 80	jts.
21. <i>SGoil</i>	= 0,82	
22. <i>SGwater</i>	= 1,03	
23. <i>SGfluida</i>	= 0,98	
24. Konstanta Elastisitas (E)	= 3 x 10 <sup>7</sup>	
25. <i>Service Factor</i> (SF)	= 0,35	

**c. Perhitungan IPR Sumur ZRD#154:**

- a. *working fluid level* (Wfl) : 2941 Ft
- b. *Static Fluid Level* (Sfl) : 2186 Ft
- c. *Top Perforation* : 3292 Ft
- d. *Bottom Perforation* : 3498 Ft
- e. *Mid Perforation* : 3392,5 Ft

Dari data diatas dapat dihitung :

$$\begin{aligned}
 1. \quad P_s &= (mid\ perforation - sfl) \times 0,433 \times \left(\frac{wc}{100}\right) + \left(1 - \left(\frac{wc}{100}\right) \times 0,85\right) \\
 &= (3392,5 - 2186) \times 0,433 \times \left(\frac{62}{100}\right) + \left(1 - \left(\frac{62}{100}\right) \times 0,85\right) \\
 &= 494 \text{ Psi}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 2. \quad P_{wf} &= (mid\ perforation - wfl) \times 0,433 \times \left(\frac{wc}{100}\right) + \left(1 - \left(\frac{wc}{100}\right) \times 0,85\right) \\
 &= (3392,5 - 2941) \times 0,433 \times \left(\frac{62}{100}\right) + \left(1 - \left(\frac{62}{100}\right) \times 0,85\right) \\
 &= 185 \text{ Psi}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 3. \quad PI &= \frac{Q}{(P_s - P_{wf})} \\
 &= \frac{215}{(494 - 185)} \\
 &= 0,7 \text{ BFPD/Psi}
 \end{aligned}$$

4. Laju Alir Maksimum ( $Q_{max}$ )

$$Q_o = Q_{max} \times \left(1 - 0,2 \times \left(\frac{P_{wf}}{P_s}\right)\right) - 0,8 \times \left(\frac{P_{wf}}{P_s}\right)^2$$

$$\begin{aligned}
 Q_{max} &= \frac{Q_o}{\left(1 - 0,2 \times \left(\frac{P_{wf}}{P_s}\right)\right) - 0,8 \times \left(\frac{P_{wf}}{P_s}\right)^2} \\
 &= \frac{215}{\left(1 - 0,2 \times \left(\frac{185}{494}\right)\right) - 0,8 \times \left(\frac{185}{494}\right)^2} = 264,15 \text{ BFPD}
 \end{aligned}$$

**Menghitung harga Q untuk setiap Pwf yang berbeda-beda (Pwf asumsi)**

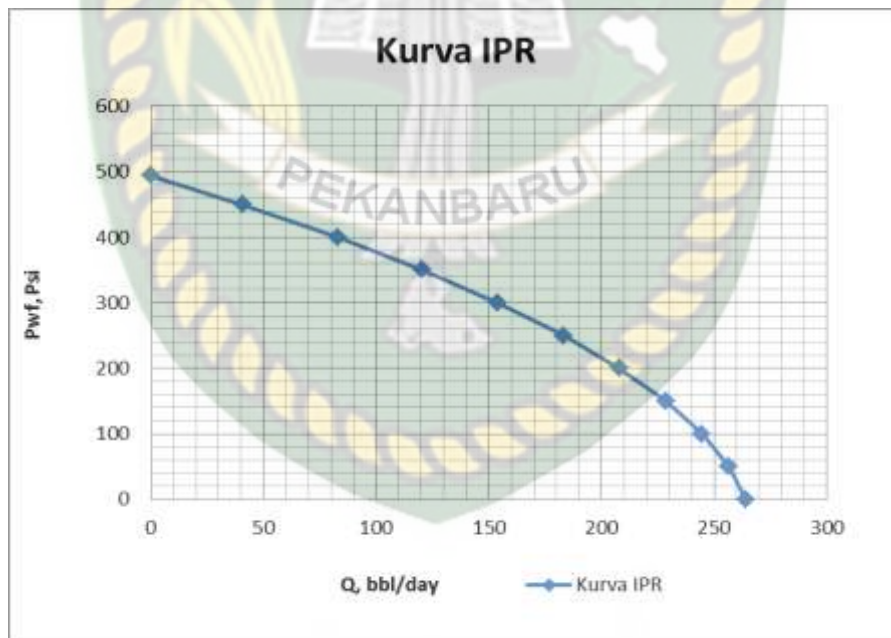
$$Q_o = Q_{max} \times \left(1 - 0,2 \times \left(\frac{P_{wf}}{P_s}\right)\right) - 0,8 \times \left(\frac{P_{wf}}{P_s}\right)^2$$

Dengan rumus tersebut didapat harga Q untuk setiap Pwf yang diasumsikan.

**Tabel 4.5.** Penentuan Laju Produksi untuk Berbagai Harga Pwf pada Sumur ZRD#154

Pwf (Psi)	Qo (BFPD)
494	0
450	40,65000246
400	82,77559049
350	120,5739481
300	154,0450753
250	183,1889721
200	208,0056385
150	228,4950745
100	244,6572801
50	256,4922552
0	264

Selanjutnya dengan membuat plot antara harga Q vs Pwf akan didapat kurva IPR sebagai berikut:



**Gambar 4.6.** Kurva IPR

**i. Perhitungan Evaluasi Efisiensi Volumetrik Pompa Terpasang :**

1. Menghitung *Water Cut* dan *Oil Cut*

- a. 
$$W_c = \left( \frac{Q_t - Q_o}{Q_t} \right) \times 100 \%$$

$$= \left( \frac{215-82}{215} \right) = 0,62 \times 100 \% = 62 \%$$

b.  $O_c = 1 - W_c$   
 $= 1 - 0,62 = 0,38 \times 100 \% = 38 \%$

2. Menghitung *Specific Gravity* (SG) fluida dan *Gradien Fluida* (GF)

$SG_{oil} = 0,82$

a.  $SG_{fluida} = (W_c \times SG_{water}) + (O_c \times SG_{oil})$   
 $= (0,62 \times 1,03) + (0,38 \times 0,82) = 0,95$

b.  $GF = SG_{fluida} \times 0,433$   
 $= 0,95 \times 0,433 = 0,41$

3. Perhitungan IPR Metode Vogel

a.  $PI_{gross} = \frac{Q_{gross}}{(P_s - P_{wf})}$   
 $= \frac{215}{(494 - 185)} = 0,69$

b.  $Q_{max-gross} = \frac{Q_{gross}}{\left(1 - 0,2 \times \left(\frac{P_{wf}}{P_s}\right)\right) - 0,8 \times \left(\frac{P_{wf}}{P_s}\right)^2}$   
 $= \frac{215}{\left(1 - 0,2 \times \left(\frac{185}{494}\right)\right) - 0,8 \times \left(\frac{185}{494}\right)^2} = 264,15 \text{ BFPD}$

c.  $PI_{nett} = \frac{Q_{nett}}{(P_s - P_{wf})}$   
 $= \frac{82}{(494 - 185)} = 0,26$

d.  $Q_{max-nett} = \frac{Q_{nett}}{\left(1 - 0,2 \times \left(\frac{P_{wf}}{P_s}\right)\right) - 0,8 \times \left(\frac{P_{wf}}{P_s}\right)^2}$   
 $= \frac{82}{\left(1 - 0,2 \times \left(\frac{185}{494}\right)\right) - 0,8 \times \left(\frac{185}{494}\right)^2} = 100,74 \text{ BOPD}$

4. Menghitung Faktor Percepatan ( $\alpha$ )

$$\alpha = \frac{S \times N^2}{70500}$$

$$= \frac{70 \times 8^2}{70500} = 0,06$$

5. Menghitung *Plunger Over Travel* ( $ep$ )

$$Ep = \frac{46,5 \times L^2 \times \alpha}{E}$$
$$= \frac{46,5 \times 3265^2 \times 0,06}{3 \times 10^7} = 1,05 \text{ inch}$$

6. Menghitung Perpanjangan *Tubing* ( $et$ ) dan *Rod String* ( $er$ )

a.  $et = \frac{5,20 \times SG \text{ fluida} \times DFL \times Ap \times L}{E \times At}$ , inch

$$= \frac{5,20 \times 0,98 \times 2941 \times 3,97 \times 3265}{(3 \times 10^7) \times 1,81} = 3,46 \text{ inch}$$

b.  $er = \frac{5,20 \times SG \text{ fluida} \times DFL \times Ap \times L}{E \times Ar}$ , in

$$= \frac{5,20 \times 0,98 \times 2941 \times 2,4 \times 3265}{(3 \times 10^7) \times 0,44} = 14,26 \text{ inch}$$

7. Menghitung Efektif *Plunger Stroke* ( $Sp$ )

$$Sp = S + ep - (et + er)$$
$$= 70 + 1,05 - (3,46 + 14,26) = 53,31 \text{ inch}$$

8. Menghitung Konstanta Pompa ( $K$ )

$$K = 0,1484 \times Ap$$
$$= 0,1484 \times 3,97 = 0,59$$

9. *Pump Displacement* ( $V$ )

$$V = K \times Sp \times N$$
$$= 0,59 \times 53,31 \times 8 = 251,3 \text{ BPD}$$

10. Menghitung Efisiensi Volumetrik Pompa ( $Ev$ )

$$Ev = \frac{Qt}{V} \times 100 \%$$
$$= \frac{215}{251,3} \times 100 \%$$
$$= 86 \%$$



#### d. Pembahasan

Evaluasi efisiensi volumetrik dimaksudkan untuk mengontrol produksi sumur pada suatu lapangan untuk mengetahui penyebab penurunan produksi. Penurunan tekanan dan adanya permasalahan pada sumur yang dapat menyebabkan penurunan laju produksi dan menurunnya kapasitas pompa yang mengakibatkan rendahnya efisiensi volumetrik pompa. Dengan demikian perlu dilakukan perubahan kondisi operasi pompa untuk peningkatan laju produksi. Besarnya harga efisiensi volumetrik ( $E_v$ ) ini memberikan gambaran akan tingkat keberhasilan suatu instalasi pompa.

Salah satu faktor penting dalam perencanaan pompa adalah *pump displacement* (kapasitas pompa) yang sesuai dengan laju produksi yang diharapkan dan efisiensi pompa. Adapun parameter yang mempengaruhi banyaknya volume fluida yang diangkat oleh pompa adalah diameter *plunger* (*pump size*), *stroke length* (SL) dan kecepatan pompa (SPM). Untuk menentukan besarnya efisiensi volumetrik ini perlu diketahui dahulu besarnya *pump displacement*. Dalam merencanakan pompa biasanya efisiensi volumetrik ( $E_v$ ) dipilih sekitar 60-80 %, akan tetapi hal ini jarang tercapai.

Dari perhitungan, sumur ZB#003 di lapangan X didapatkan data sumur yaitu data Laju produksi total ( $Q_{total}$ ) sebesar 60 BFPD, dengan *stroke length* ( $S$ ) = 70 *inch* dan *Stroke Per Minute* ( $N$ ) = 5 SPM. Setelah sumur ini dievaluasi didapatkan *Pump Displacement* ( $V$ ), yaitu 107,1 BFPD dan efisiensi volumetrik 56%. Kemudian dari hasil perhitungan IPR sumur ZB#003 didapatkan  $Q_{max}$  sebesar 92 BFPD.

Hasil kajian terhadap pompa setelah dilakukan evaluasi pada Sumur ZB#003 diketahui bahwa sumur mengalami penurunan laju produksi yang mengakibatkan rendahnya efisiensi volumetrik pompa. Dengan demikian, perlu dilakukan optimasi atau perubahan kondisi operasi pompa untuk peningkatan laju produksi, yaitu dengan merubah *stroke length* ( $S$ ) dari 70 *inch* menjadi 60 *inch* dan *stroke per minute* ( $N$ ) yang digunakan tetap yaitu 5 SPM. Untuk pemilihan nilai  $N$  dan  $S$  pada lapangan X ini sudah ditentukan oleh perusahaan *range* yang

digunakan yaitu untuk nilai N dibatasi dari 2 sampai 10, sedangkan nilai S dibatasi dari 20 sampai 100.

Setelah dilakukan optimasi didapatkan kenaikan laju produksi sekitar 15 BFPD, sehingga laju produksi total ( $Q_{total}$ ) dari 60 BFPD menjadi 75 BFPD, *Pump Displacement* ( $V$ ) = 64,34 BFPD, dan Efisiensi volumetrik naik dari 56% menjadi 84%.

Pada sumur ZRD#154 di lapangan X, didapatkan data sumur, yaitu data Laju produksi total ( $Q_{total}$ ) sebesar 215 BFPD, dengan *stroke length* ( $S$ ) = 70 inch dan *Stroke Per Minute* ( $N$ ) = 8 SPM. Setelah sumur ini dievaluasi didapatkan *Pump Displacement* ( $V$ ), yaitu 251,3 BFPD dan efisiensi volumetrik 86 %. Kemudian dari hasil perhitungan IPR sumur ZRD#154 didapatkan  $Q_{max}$  sebesar 264,15 BFPD.

Sumur ZRD#154 produksi sudah optimum, tidak perlu dioptimasi lagi, karena kemampuan pompa sangat baik sesuai dengan yang diharapkan yaitu 86%.

Dengan demikian pompa HPU sangat efisien dan efektif digunakan untuk sumur ZB#003 dan ZRD#154 karena HPU dapat dioperasikan pada SPM (*Sroke per minute*) yang rendah. SPM rendah diperlukan agar umur pemakaian *sucker rod* lebih panjang, disamping itu HPU juga mempunyai fleksibilitas yang tinggi terhadap perubahan *stroke length* dan *stroke per minute*.

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1. Kesimpulan

Setelah dilakukan evaluasi dan optimasi kinerja *Hydraulic Pumping Unit* (HPU) di lapangan X, yaitu pada sumur ZB#003 dan ZRD#154, maka dapat disimpulkan:

1. Hasil evaluasi efisiensi volumetrik (Ev) pompa dari sumur-sumur di lapangan X, yaitu : Sumur ZB#003 = 56 % dan Sumur ZRD#154 = 86 %.
2. Hasil evaluasi kemampuan sumur berdasarkan kurva IPR sumur ZB#003 dan ZRD#154 lapangan X didapatkan Qmax dari masing-masing sumur yaitu, Sumur ZB#003 = 92 BFPD dan Sumur ZRD#154 = 264,15 BFPD. Sumur ZB#003 perlu dilakukan optimasi.
3. Hasil optimasi pada sumur ZB#003, dengan merubah *Stroke length* (S) dari 70 *inch* menjadi 60 *inch*, dan untuk *stroke per minute* (SPM) didapatkan angka yang sama yaitu 5 SPM. Laju produksi mengalami kenaikan sebesar 15 BFPD, yaitu dari 60 BFPD menjadi 75 BFPD, sehingga laju alir minyak (Qo) dari 40 BOPD menjadi 50,25 BOPD, efisiensi volumetrik (Ev) naik dari 56 % menjadi 84 %.  
Sumur ZRD#154, tidak perlu dilakukan optimasi karena kemampuan pompa masih bagus dengan Efisiensi volumetris 86 %.

### 5.2. Saran

1. Peneliti menyarankan kepada peneliti selanjutnya untuk Membuat perbandingan mana yang lebih efisien antara penggunaan menara HPU berkaki 3 (tiga) atau berkaki 4 (empat).
2. Mengevaluasi *test dynagraph* untuk mengetahui kinerja pompa angguk (*sucker rod pump*) serta *hydraulic pumping unit* (HPU).

## DAFTAR PUSTAKA

1. Brown, K.E., 1977, *“The Technology of Artificial Lift Methods”*, volume 1, Penn Well Publishing Co., Tulsa, Oklahoma.
2. Brown, K.E., 1980 *“The Technology of Artificial Lift Methods”*, volume 2A dan 2B, Penn Well Publishing Co., Tulsa, Oklahoma.
3. Brown, K.E., 1984 *“The Technology of Artificial Lift Methods”*, volume 4, Penn Well Publishing Co., Tulsa, Oklahoma.
4. Petrie, hal w., 2008 *“Hydraulic Pumping”* PEH Chapter 6, *National Oil well SPE Chapter*.
5. Griffin, Fred D., 2006 *“Pumping Unit and Prime movers for Pumping Unit Part 1 and 2”* PEH Chapter 10, Lufkins Industri Inc.
6. Uren, lester C,U *“problem of Pumping deep wells”* SPE journal Paper, California.
7. Hafizah azmi anisa, maulana Yusuf, Ubaidillah anwar Prabu, 2013 *“optimasi produksi Hasil Perencanaan SRP Terpasang pada Sumur TMT-Y di TAC-Pertamina EP Golwater TMT, IATMI.*