

**ANALISIS PERBANDINGAN DESAIN *SUCKER ROD PUMP*  
MENGUNAKAN PERHITUNGAN API RP 11L DAN  
METODE MILLS UNTUK MENINGKATKAN LAJU  
PRODUKSI DI SUMUR CAMEO-14 LAPANGAN CHEVY**

**TUGAS AKHIR**

*Diajukan guna penyusunan tugas akhir Program Studi Teknik Perminyakan*

Oleh

**ILHAM BASYA**

**143210195**



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

**2021**

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PENGESAHAN .....	ii
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR GAMBAR.....	v
DAFTAR TABEL .....	vi
DAFTAR SIMBOL .....	viii
ABSTRAK .....	x
ABSTRACT.....	xi
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 LATAR BELAKANG.....	1
1.2 TUJUAN PENELITIAN .....	2
1.3 MANFAAT PENELITIAN .....	2
1.4 BATASAN MASALAH .....	2
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>3</b>
2.1 KURVA IPR .....	3
2.2 <i>SUCKER ROD PUMP</i> (SRP).....	5
2.3 METODE DESAIN SRP .....	9
2.4 <i>STATE OF THE ART</i> .....	12
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>15</b>
3.1 METODE PENELITIAN .....	15
3.1.1 Metode API RP 11L.....	15
3.1.2 Metode Mills .....	24
3.2 <i>FLOWCHART</i> .....	29
3.3 JENIS PENELITIAN .....	30
3.3.1 Data Sumur Cameo-14 Lapangan Chevy .....	30
3.4 TEMPAT DAN JADWAL PENELITIAN .....	30
<b>BAB IV PEMBAHASAN.....</b>	<b>31</b>
4.1 PEMBUATAN KURVA IPR.....	31
4.2 DESAIN SRP MENGGUNAKAN METODE API RP 11L.....	33

4.3.1 Laju alir fluida 50 bpd.....	33
4.3.2 Laju alir fluida 75 bpd.....	35
4.3.3 Laju alir fluida 100 bpd.....	37
4.3 DESAIN SRP MENGGUNAKAN METODE MILLS .....	39
4.3.1 Laju alir fluida 50 bpd.....	39
4.3.2 Laju alir fluida 75 bpd.....	41
4.3.3 Laju alir fluida 100 bpd.....	42
4.4 PERBANDINGAN DESAIN SRP METODE API RP 11L DENGAN METODE MILLS .....	43
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>47</b>
5.1 KESIMPULAN .....	47
5.2 SARAN .....	47
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>48</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>51</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Komponen SRP (Bellarby, 2009).....	6
<b>Gambar 2.2</b>	Prinsip kerja SRP (Bhatkar & Anwar, 2013) .....	7
<b>Gambar 2.3</b>	Desain perhitungan SRP berdasarkan API RP 11L.....	10
<b>Gambar 2.4</b>	SRP <i>designation</i> (API, 2013) .....	11
<b>Gambar 3.1</b>	Data ukuran tubing (API, 1998) .....	15
<b>Gambar 3.2</b>	Data ukuran rod dan <i>pump</i> (API, 1998) .....	16
<b>Gambar 3.3</b>	<i>Plunger stroke factor</i> ( $S_p/S$ ) (API, 1998) .....	18
<b>Gambar 3.4</b>	<i>Peak polished rod load factor</i> ( $F_1/Sk_r$ ) (API, 1998).....	19
<b>Gambar 3.5</b>	<i>Minimum polished rod load factor</i> ( $F_2/Sk_r$ ) (API, 1998) .....	20
<b>Gambar 3.6</b>	<i>Peak torque factor</i> ( $2T/S^2kr$ ) (API, 1998).....	21
<b>Gambar 3.7</b>	<i>Polished rod horse power factor</i> ( $F_3/Skr$ ) (API, 1998) .....	22
<b>Gambar 3.8</b>	<i>Adjustment for peak torque</i> ( $T_a$ ) (API, 1998).....	23
<b>Gambar 3.9</b>	<i>Service factor</i> (API, 1998).....	24
<b>Gambar 3.10</b>	Perhitungan beban <i>rod</i> (Brown, 1993).....	27
<b>Gambar 3.11</b>	Diagram alir penelitian .....	29
<b>Gambar 4.1</b>	Grafik kurva IPR pada sumur cameo-14 .....	32

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b>	<i>Screening Criteria</i> Untuk SRP .....	8
<b>Tabel 2.2</b>	Kelebihan dan kekurangan <i>sucker rod pumps</i> .....	8
<b>Tabel 2.3</b>	Hasil desain SRP yang dilakukan oleh Reddy menggunakan metode API RP 11L .....	13
<b>Tabel 2.4</b>	Hasil desain SRP yang dilakukan oleh Ceylan menggunakan metode API RP 11L .....	14
<b>Tabel 3.1</b>	Data yang perlu diketahui dan/atau diasumsikan .....	15
<b>Tabel 3.2</b>	Data sumur cameo-14 lapangan chevy .....	30
<b>Tabel 3.3</b>	Jadwal Penelitian .....	30
<b>Tabel 4.1</b>	Perhitungan pembuatan kurva IPR .....	31
<b>Tabel 4.2</b>	Nilai $P_{wf}$ dan $Q_f$ pada sumur cameo-14 .....	32
<b>Tabel 4.3</b>	Hasil perhitungan laju hisap pompa, tekanan alir dasar sumur, tinggi kolom fluida, dan kedalaman pompa SRP pada laju alir fluida 50 bpd .....	33
<b>Tabel 4.4</b>	Hasil perhitungan desain SRP menggunakan metode API RP 11L pada laju alir fluida 50 bpd .....	34
<b>Tabel 4.5</b>	Hasil perhitungan laju hisap pompa, tekanan alir dasar sumur, tinggi kolom fluida, dan kedalaman pompa SRP pada laju alir fluida 75 bpd .....	35
<b>Tabel 4.6</b>	Hasil perhitungan desain SRP menggunakan metode API RP 11L pada laju alir fluida 75 bpd .....	36
<b>Tabel 4.7</b>	Hasil perhitungan laju hisap pompa, tekanan alir dasar sumur, tinggi kolom fluida, dan kedalaman pompa SRP pada laju alir fluida 100 bpd .....	37
<b>Tabel 4.8</b>	Hasil perhitungan desain SRP menggunakan metode API RP 11L pada laju alir fluida 100 bpd .....	38
<b>Tabel 4.9</b>	Data yang digunakan untuk desain SRP menggunakan metode Mills pada laju alir fluida 50 bpd .....	40

<b>Tabel 4.10</b>	Hasil perhitungan desain SRP menggunakan metode Mills pada laju alir fluida 50 bpd.....	40
<b>Tabel 4.11</b>	Data yang digunakan untuk desain SRP menggunakan metode Mills pada laju alir fluida 75 bpd.....	41
<b>Tabel 4.12</b>	Hasil perhitungan desain SRP menggunakan metode Mills pada laju alir fluida 75 bpd .....	41
<b>Tabel 4.13</b>	Data yang digunakan untuk desain SRP menggunakan metode Mills pada laju alir fluida 100 bpd.....	42
<b>Tabel 4.14</b>	Hasil perhitungan desain SRP menggunakan metode Mills pada laju alir fluida 100 bpd.....	43
<b>Tabel 4.15</b>	Perbandingan desain SRP metode API RP 11L dengan metode Mills pada laju alir 50 bpd .....	44
<b>Tabel 4.16</b>	Perbandingan desain SRP metode API RP 11L dengan metode Mills pada laju alir 75 bpd .....	45
<b>Tabel 4.17</b>	Perbandingan desain SRP metode API RP 11L dengan metode Mills pada laju alir 100 bpd .....	46

## DAFTAR SIMBOL

PI	<i>Productivity index, bpd/psi</i>
q	<i>Measured liquid production rate, bpd</i>
$P_{ws}$	<i>Static bottomhole pressure, psi</i>
$P_{wf}$	<i>Flowing bottomhole pressure, psi</i>
$Q_{max}$	<i>Maximum production rate, bpd</i>
$W_r$	<i>Massa jenis rod, lb/ft</i>
$E_r$	<i>Elastic constant rod, inch/lb-ft</i>
$F_c$	<i>Frequency factor</i>
$E_t$	<i>Elastic constant tubing, inch/lb-ft</i>
$F_o$	<i>Differential fluid load on full plunger, lbs</i>
$1/k_r$	<i>Elastic constant total rod string, inch/lb</i>
$Sk_r$	<i>Pounds of load necessary to stretch total rod string an amount equal to polished rod stroke, lbs</i>
N	<i>Pumping speed, SPM</i>
$N_o$	<i>Natural frequency of straight rod string, SPM</i>
$N_o'$	<i>Natural frequency of tapered rod string, SPM</i>
$1/k_t$	<i>Elastic constant pada unanchored portion of tubing string, inch/lb</i>
S	<i>Polished rod stroke length, inches</i>
$S_p/S$	<i>Plunger stroke factor</i>
$S_p$	<i>Bottom hole pump stroke, inches</i>
PD	<i>Pump displacement, bpd</i>
W	<i>Total weight of rods di udara, lbs</i>
$W_{rf}$	<i>Total weight of rods di dalam fluida, lbs</i>
$F_1/Sk_r$	<i>Peak polished road load factor</i>
$F_2/Sk_r$	<i>Minimum polished rod load factor</i>
$2T/S^2k_r$	<i>Peak torque factor</i>
$F_3/Sk_r$	<i>Polished rod horse power factor</i>
$T_a$	<i>Torque adjusment constant</i>
PPRL	<i>Peak polished rod load, lbs</i>

MPRL	<i>Minimum polished rod load, lbs</i>
PT	<i>Peak cranck torque, lb inches</i>
PRHP	<i>Polished road horsepower, HP</i>
CBE	<i>Counterweight required, lbs</i>
$\alpha$	<i>Mills acceleration factor</i>
$W_f$	<i>Massa fluida, lbs</i>
$W$	<i>Massa static rod, lbs</i>
$G$	<i>Specific gravity of fluid</i>
$A_p$	<i>Luas permukaan plunger, inch<sup>2</sup></i>
$A_r$	<i>Luas permukaan rod, inch<sup>2</sup></i>
$L$	<i>Panjang rod string, ft</i>
$e_p$	<i>Elongation of rods due to acceleration, in</i>
$e_t$	<i>Elongation of unachored tubing due to fluid load, in</i>
$e_r$	<i>Elongation of rods due to gravity, in</i>
$Y_r$	<i>Youngs modulus for rod material, psi</i>
$Y_t$	<i>Youngs modulus for tubing material, psi</i>
$A_r$	<i>Cross-section area of rod, in<sup>2</sup></i>
$A_t$	<i>Cross-section area of tubing wall, in<sup>2</sup></i>



**ANALISIS PERBANDINGAN DESAIN *SUCKER ROD PUMP*  
MENGUNAKAN PERHITUNGAN API RP 11L DAN METODE MILLS  
UNTUK MENINGKATKAN LAJU PRODUKSI DI SUMUR CAMEO-14  
LAPANGAN CHEVY**

**ILHAM BASYA**

**NPM 143210195**

**ABSTRAK**

*Sucker Rod Pump* termasuk ke dalam jenis *artificial lift* tertua yang dapat mengangkat minyak dengan laju produksi sedang hingga rendah dari kedalaman sumur yang dangkal hingga menengah. SRP memiliki efisiensi yang relatif tinggi sehingga akan memberikan keuntungan. Untuk mendapatkan keuntungan yang tinggi maka perlu dilakukan desain yang cocok terhadap SRP itu sendiri. Pada penelitian ini akan dilakukan desain SRP menggunakan metode API RP 11L dan metode Mills, dimana data yang digunakan berasal dari Sumur Cameo-14 Lapangan Chevy. Adapun tujuan dari penelitian ini untuk menganalisis desain SRP berdasarkan metode API RP 11L dan metode Mills. Penelitian ini dilakukan dengan metode studi lapangan atau *case study*. Tahapan metode penelitian ini dimulai dengan mempersiapkan data sekunder yang kemudian melakukan perhitungan desain SRP menggunakan metode API RP 11L dan metode Mills, setelah itu membandingkan hasil dari kedua metode tersebut.

Pada perhitungan desain SRP menggunakan metode API RP 11L dengan laju alir 50 bpd menggunakan tipe pompa C-25D-67-36 dapat memproduksi minyak sebesar 62.65 bpd, dengan laju alir 75 bpd menggunakan tipe pompa C-40D-89-36 dapat memproduksi minyak sebesar 93.47 bpd, dan dengan laju alir 100 bpd menggunakan tipe pompa C-80D-109-48 dapat memproduksi minyak sebesar 125.85 bpd. Pada perhitungan desain SRP menggunakan metode Mills dengan laju alir 50 bpd menggunakan tipe pompa C-25D-67-36 dapat memproduksi minyak sebesar 61.57 bpd, dengan laju alir 75 bpd menggunakan tipe pompa C-40D-89-36 dapat memproduksi minyak sebesar 89.57 bpd, dan dengan laju alir 100 bpd menggunakan tipe pompa C-57D-109-48 dapat memproduksi minyak sebesar 117.89 bpd.

**Kata Kunci :** Desain SRP, Metode API RP 11L, Metode Mills

**COMPARATIVE ANALYSIS OF SUCKER ROD PUMP DESIGN USING  
API RP 11L CALCULATIONS AND MILLS METHOD TO IMPROVE  
PRODUCTION LEVEL IN CAMEO-14 WELL OF CHEVY FIELD**

**ILHAM BASYA  
NPM 143210195**

**ABSTRACT**

The Sucker Rod Pump is among the oldest types of artificial lift that can lift oil at moderate to low production rates from shallow to medium well depths. SRP has a relatively high efficiency so that it will provide benefits. To get a high profit, it is necessary to make a design that is suitable for the SRP itself. In this study, the SRP design will be carried out using the API RP 11L method and the Mills method, where the data used comes from the Cameo-14 Well of Chevy Field. The purpose of this study is to analyze the SRP based on the API RP 11L method and the Mills method. This research was conducted by using the method of field studies or case studies. The stages of this research method began by preparing secondary data, then calculating the SRP design using the API RP 11L method and the Mills method, after that comparing the results of the two methods.

In the SRP design calculations using the API RP 11L method with a flow rate of 50 bpd using the C-25D-67-36 pump type can produce 62.65 bpd of oil, with a flow rate of 75 bpd using the C-40D-89-36 pump type can produce as much oil as 93.47 bpd, and with a flow rate of 100 bpd using the C-80D-109-48 pump type can produce 125.85 bpd of oil. In SRP design calculations using the Mills method with a flow rate of 50 bpd using the C-25D-67-36 pump type can produce 61.57 bpd of oil, with a flow rate of 75 bpd using the C-40D-89-36 pump type can produce 89.57 bpd of oil, and with a flow rate of 100 bpd using the C-57D-109-48 pump type can produce oil of 117.89 bpd.

**Keywords :** SRP design, API RP 11L Method, Mills Method

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 LATAR BELAKANG

Tenaga pendorong yang memindahkan minyak dari reservoir berasal dari energi alami (*natural energy*). Energi yang sebenarnya menyebabkan sumur dapat menghasilkan adalah hasil dari perbedaan tekanan antara reservoir dengan *wellbore*. Jika perbedaan tekanan antara reservoir dan *surface producing facilities* cukup besar, sumur akan mengalir secara alami ke permukaan hanya menggunakan energi alami yang berasal dari reservoir (Romero & Almeida, 2014; Ceylan, 2004).

Sepanjang umur sumur produksi, tekanan reservoir mungkin menjadi tidak cukup untuk mengalir secara alami melalui fasilitas produksi permukaan. Dalam kasus ini pompa pengangkat buatan (*artificial lift pumps*) biasanya digunakan untuk mempertahankan produksi. Salah satu pompa pengangkat buatan yang digunakan untuk mengangkat fluida dari dalam sumur adalah *sucker rod pump* (Stewart, 2019; H, Ibrahim, & Yusuf, 2015; Romero & Almeida, 2014; Nov, 2012).

*Sucker rod pump* juga disebut sebagai *beam pumping*. Pompa ini efisien, sederhana, dan mudah bagi orang lapangan dalam mengoperasikannya. *Sucker rod pump* memberikan energi mekanik untuk mengangkat minyak dari *bottom-hole* ke permukaan (Guo, Liu, & Tan, 2017). Prinsip kerja dari *sucker rod pump* adalah ketika *plunger* pada kondisi *upstroke* terjadi penurunan tekanan, hal ini disebabkan oleh tekanan di dasar sumur yang lebih besar dari tekanan di dalam pompa, sehingga kondisi ini menyebabkan *standing valve* terbuka dan fluida masuk melalui *bottomhole pump*. Ketika *plunger* pada kondisi *downstroke*, *standing valve* akan tertutup, hal ini disebabkan oleh tekanan di dalam pompa yang lebih besar dari tekanan di dasar sumur sehingga akan membuat *travelling valve* terbuka dan minyak masuk kedalam *plunger* (Bhatkar & Anwar, 2013; Anisa, Yusuf, & Prabu, 2014; Nguyen, 2020).

*Sucker rod pump* termasuk ke dalam jenis *artificial lift pumps* tertua yang hingga saat ini masih digunakan di seluruh dunia (Fozao, Lissouck, Lontsi, Ngasa, & Mbanda, 2015; Takacs, 2015). Namun, kedalaman *wellbore* merupakan salah satu keterbatasan *sucker rod pump*. *Sucker rod pump* dapat mengangkat minyak

dengan laju produksi rendah hingga 4000 bfpd dari kedalaman sumur yang dangkal hingga 15000 ft. *Sucker rod pump* memiliki efisiensi yang relatif tinggi sehingga akan memberikan keuntungan (Stewart, 2019; Takacs, 2015; Ceylan, 2004).

Untuk mendapatkan hasil produksi yang optimal, maka perlu dilakukan desain yang cocok terhadap *sucker rod pump* itu sendiri. Ada beberapa metode yang dapat digunakan dalam mendesain *sucker rod pump*, yaitu metode API RP 11L, Mills, dan Gibbs (Jennings, 1989). Menurut Jennings (1989), metode API RP 11L memberikan hasil perhitungan yang lebih baik dibandingkan dengan kedua metode lainnya. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dilakukan desain SRP menggunakan metode API RP 11L dan metode Mills, lalu membandingkan hasil dari kedua metode tersebut, dimana data yang digunakan berasal dari Sumur Cameo-14 Lapangan Chevy.

## 1.2 TUJUAN PENELITIAN

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis desain SRP berdasarkan metode API RP 11L.
2. Menganalisis desain SRP berdasarkan metode mills.

## 1.3 MANFAAT PENELITIAN

Berdasarkan penelitian yang akan dilakukan dapat memberikan berbagai manfaat diantaranya yaitu:

1. Dapat menjadi referensi bagi mahasiswa dalam penelitian selanjutnya mengenai desain SRP.
2. Diharapkan hasil dari penelitian ini dapat diaplikasikan pada sumur-sumur minyak yang memiliki kedalaman menengah (<10.000 ft atau 3048) dengan laju produksi yang relatif tidak terlalu besar (<1.000 bfpd)

## 1.4 BATASAN MASALAH

Agar penelitian ini tidak menyimpang dari pokok permasalahan yang dianalisis, maka didalam penelitian ini dibatasi pada beberapa hal yang menyangkut tentang desain SRP :

1. Tidak menganalisis keekonomian.
2. Desain perhitungan hanya menggunakan metode API RP 11L dan metode Mills.
3. Tidak membahas *artificial lift* jenis lainnya.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

Allah SWT telah menciptakan sumber daya alam yang dapat diperbarui misalnya barang tambang dan mineral, termasuk minyak dan gas bumi. Sumber daya minyak dan gas bumi dapat habis dan punah apabila dieksploitasi terus – menerus. Al-Qur'an sebagai sumber hukum islam telah menjelaskan secara tegas hal tersebut dalam QS. AL-Ma'idah ayat 17:

لَقَدْ كَفَرَ الَّذِينَ قَالُوا إِنَّ اللَّهَ هُوَ الْمَسِيحُ ابْنُ مَرْيَمَ قُلْ فَمَنْ يَمْلِكُ مِنَ اللَّهِ شَيْئًا إِنْ أَرَادَ أَنْ يُهْلِكَ الْمَسِيحَ ابْنَ مَرْيَمَ وَأُمَّهُ وَفِي الْأَرْضِ جَمِيعًا وَبِهِ مُلْكُ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ وَمَا بَيْنَهُمَا يَخْلُقُ مَا يَشَاءُ وَاللَّهُ عَلَى كُلِّ شَيْءٍ قَدِيرٌ

Terjemahan : “Kepunyaan Allah lah langit dan bumi dan apa yang ada diantara keduanya. Dan Allah maha kuasa atas segala sesuatu”.

Setiap manusia memiliki rezeki yang berbeda sesuai dengan yang telah ditakdirkan oleh Allah SWT. Allah SWT telah memastikan bahwa rezeki setiap manusia akan tercukupi dalam menjalani kehidupan. Al-Qur'an sebagai sumber hukum islam telah menjelaskan secara tegas hal tersebut dalam QS. At-Thalaq ayat 3:

وَيَزِرُكُمُ مِنْ حَيْثُ لَا يَحْتَسِبُ وَمَنْ يَتَوَكَّلْ عَلَى اللَّهِ فَهُوَ حَسْبُهُ إِنَّ اللَّهَ لَبِغْ أَمْرِهِ قَدْ جَعَلَ اللَّهُ لِكُلِّ شَيْءٍ قَدْرًا

Terjemahan : "Dan memberinya rezeki dari arah yang tiada disangka-sangkanya. Dan barangsiapa yang bertawakkal kepada Allah niscaya Allah akan mencukupkan (keperluan)nya. Sesungguhnya Allah melaksanakan urusan yang (dikehendaki)Nya. Sesungguhnya Allah telah mengadakan ketentuan bagi tiap-tiap sesuatu”.

#### 2.1 KURVA IPR

Dasar dari desain SRP adalah mencapai laju pemompaan yang sesuai dengan laju aliran masuk ke sumur tertentu dengan memilih komponen peralatan yang tepat dan menyesuaikannya dengan benar. Prasyarat dari hal ini adalah pengetahuan yang tepat tentang hubungan kinerja aliran masuk (kurva IPR) sumur

yang memberikan tingkat produksi yang dapat dicapai terhadap tekanan lubang dasar yang mengalir (Takacs, 2003).

Kurva IPR (*Inflow Performance Relationship*) merupakan suatu kurva yang dapat menggambarkan produktivitas sumur, kurva ini dinyatakan dalam bentuk suatu hubungan antara laju alir fluida produksi (Q) terhadap tekanan dasar sumur ( $P_{wf}$ ) (Herawati, Novrianti, & Suyandi, 2015; Musnal, 2014). Informasi yang tidak tepat tentang kurva IPR adalah penyebab yang sangat umum dari desain yang buruk dan operasi yang tidak efisien. Oleh karena itu, setiap upaya harus dilakukan untuk memastikan bahwa informasi yang cukup tersedia tentang pengiriman yang baik pada saat desain instalasi (Takacs, 2003).

Ada dua model dasar yang dapat digunakan dalam mengetahui produktivitas suatu sumur, yaitu menggunakan *constant productivity index* (PI) atau Vogel's *inflow performance relationship* (IPR) curve (Takacs, 2003). Untuk menghitung *constant productivity index* (PI) dapat menggunakan persamaan sebagai berikut (Musnal, 2015; Musnal, 2012; Takacs, 2003):

$$PI = \frac{q}{P_{ws} - P_{wf}} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

PI = *Productivity index*, bpd/psi

q = *Measured liquid production rate*, bpd

$P_{ws}$  = *Static bottomhole pressure*, psi

$P_{wf}$  = *Flowing bottomhole pressure*, psi

Untuk menghitung Vogel's *inflow performance relationship* (IPR) curve dapat menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\frac{q}{q_{max}} = 1 - 0.2 \frac{P_{wf}}{P_{ws}} - 0.8 \left( \frac{P_{wf}}{P_{ws}} \right)^2 \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan:

$q_{max}$  = *Maximum production rate*, bpd

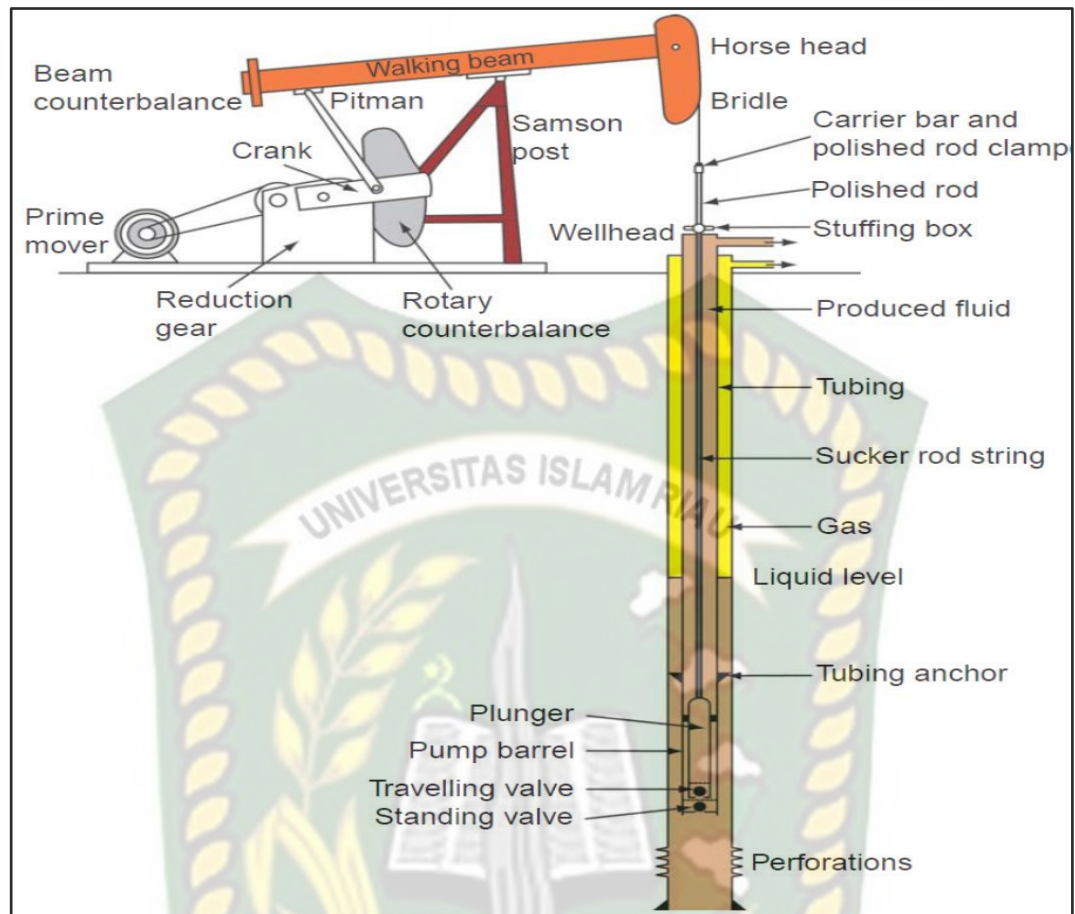
Menurut Guo (2019) *constant productivity index* (PI) hanya dapat digunakan jika fluida di reservoir terdiri dari *single-phase flow*, sedangkan Vogel's *inflow performance relationship* (IPR) curve dapat digunakan jika fluida di reservoir *two-phase flow*.

## 2.2 *SUCKER ROD PUMP (SRP)*

*Sucker rod pump (SRP)* merupakan salah satu *artificial lift pumps* tertua yang hingga saat digunakan untuk mengangkat minyak ke permukaan (Stewart, 2019; Reddy, 2018; Fozao, Lissouck, Lontsi, Ngasa, & Mbanda, 2015; Takacs, 2015; Fitrianti, 2013). Namun, kedalaman merupakan salah satu keterbatasan SRP. SRP dapat mengangkat minyak dengan laju produksi sedang hingga rendah dari kedalaman sumur yang dangkal hingga menengah (Takacs, 2015).

SRP memiliki lima komponen utama dari bagian atas permukaan (*surface*) hingga bagian bawah permukaan (*subsurface*) (Kapadiya, Bhatt, & Sodha, 2013). Komponen utama peralatan SRP di permukaan meliputi (Kapadiya, Bhatt, & Sodha, 2013; Takács, 1993) :

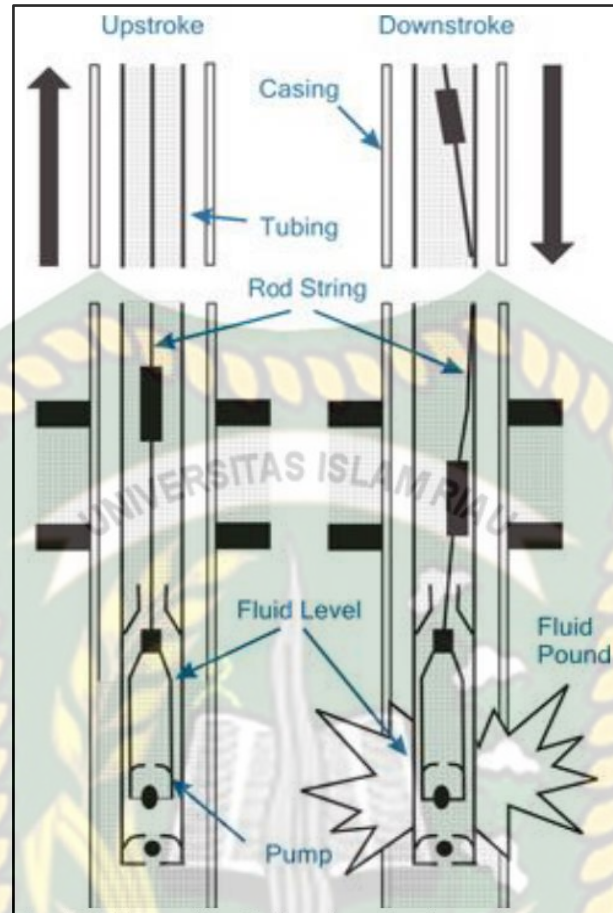
1. *Prime mover*, berfungsi sebagai sumber penggerak untuk sistem. Dapat berupa motor elektrik atau *gas engine*.
2. *Gear reducer* atau *gear box*, berfungsi mengurangi kecepatan putar *prime mover* sesuai dengan kecepatan pemompaan yang dibutuhkan, dalam waktu yang sama meningkatkan torsi yang tersedia.
3. *Pumping unit*, batang mekanikal yang mengubah gerakan rotasi *gear reducer* menjadi gerakan *reciprocating* untuk mengoperasikan peralatan di bawah permukaan. Bagian utama dari *pumping unit* adalah *walking beam* yang bekerja dengan prinsip tuas mekanik.
4. *Polished rod*, yang berfungsi menghubungkan *walking beam* dengan *sucker-rod string* dan memastikan penyegel permukaan dalam kepala sumur berjalan dengan baik sehingga fluida tetap berada di dalam sumur.
5. *Wellhead assembly*, dimana terdapat *stuffing box* yang berfungsi menyambung *polished rod* dan *pumping tee* sehingga fluida dapat mengalir melalui *flowline*. *Annulus casing* dan *annulus tubing* tersambung dengan *flowline* melalui *check valve*.



**Gambar 2.1** Komponen SRP (Bellarby, 2009)

Prinsip kerja dari SRP adalah *prime mover* menghasilkan gerakan rotasi, dimana gerakan ini diubah dan menghasilkan gerakan translasi oleh *crank* dan *pitman*. Setelah itu gerakan translasi menggerakkan *plunger* yang berada di dalam sumur. Pada kondisi *upstroke* terjadi penurunan tekanan, hal ini disebabkan oleh tekanan di dasar sumur yang lebih besar dari tekanan di dalam pompa, sehingga kondisi ini menyebabkan *standing valve* terbuka dan fluida masuk melalui *bottomhole pump*. Pada saat kondisi *downstroke*, *standing valve* akan tertutup, hal ini disebabkan oleh tekanan di dalam pompa yang lebih besar dari tekanan di dasar sumur sehingga akan membuat *travelling valve* terbuka dan minyak masuk kedalam *plunger* (Bhatkar & Anwar, 2013; Anisa, Yusuf, & Prabu, 2014; Nguyen, 2020).





**Gambar 2.2** Prinsip kerja SRP (Bhatkar & Anwar, 2013)

Dalam mengaplikasikan SRP, ada parameter-parameter yang harus diperhatikan (*Screening Criteria*) agar SRP dapat bekerja secara optimal dan sesuai dengan target produksi (Takacs, 2015; Ceylan, 2004). Parameter-parameter tersebut dapat dilihat pada tabel 2.1.

**Tabel 2.1** *Screening Criteria* Untuk SRP

Parameter	Keterangan
Kedalaman	Rods limit the depth 500 B/D at 7500 ft, 150 B/D at 15000 ft.
Ukuran casing	Small casing size, 4.5-5.5 in, may limit free-gas separation; high-rate wells need large plunger pumps
Fluid gravity	>8°API
Temperatur	Dapat beroperasi sampai dengan 550°F
Lift Capability	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Untuk <i>high-volume capacity</i> dibatasi oleh kedalaman (4000 BFPD pada 1000 ft dan 1000 BFPD pada 5000 ft)</li> <li>• Untuk <i>low-volume capacity</i> sangat baik (dibawah 100 BFPD)</li> </ul>
Efisiensi	50 % - 60 %
Gas handling	<i>Fair to good</i>
Corrosion handling	<i>Good to excellent</i>
Solids handling	<i>Fair to good</i>
Offshore application	<i>Limited</i>
Biaya Operasi	Sangat rendah untuk kedalaman kurang dari 7.500 ft dan produksi lebih kecil dari 400 BFPD

Sumber : *Takaacs (2015) dan Ceylan (2004)*

Menurut Stewart (2019) ada beberapa kelebihan dan kekurangan dalam menggunakan *sucker rod pumps* untuk mempertahankan produksi yang dapat dilihat pada tabel 2.2.

**Tabel 2.2** Kelebihan dan kekurangan *sucker rod pumps*

No	Kelebihan	Kekurangan
1	Biaya awal yang rendah di sumur dengan kedalaman dangkal sampai sedang	Meningkatkan kedalaman dan / atau volume yang diproduksi akan meningkatkan biaya sistem dan mengurangi kemampuan produksi sistem
2	Fleksibilitas untuk menangani volume produksi yang berubah	Memerlukan unit penarik untuk menjalankan dan mengambil down-hole pump atau mengganti sucker rods
3	SRP menggunakan tubing string sederhana dan melepaskan natural gas melalui anulus	Efisiensi volumetrik berkurang dalam sumur dengan GOR tinggi, wax, solids, H <sub>2</sub> S, atau korosi

Sumber: (Stewart, 2019)

### 2.3 METODE DESAIN SRP

Umumnya ada tiga metode yang telah digunakan dalam desain SRP; metode Mills, metode API RP 11L, dan metode Gibbs (Bellarby, 2009; Jennings, 1989).

#### 1. Metode Mills

Metode Mills dikembangkan pada tahun 1930-an dan umumnya digunakan dalam "*calculation sheets*" industri. Sejumlah asumsi penyederhanaan dibuat dalam metode Mills, termasuk asumsi *simple harmonic motion*, *concentrated rod mass*, *neglecting fluid inertia* dan *damping*. Metode Mills berguna untuk membantu memulai proses desain dalam metode API atau Gibbs (Jennings, 1989).

#### 2. Metode API RP 11L

Metode API didasarkan pada pekerjaan yang dilakukan oleh Midwest Research Institute yang selesai pada akhir 1960-an. Metode API menawarkan solusi yang jauh lebih lengkap dari masalah *rod motion* dibandingkan dengan metode Mills, tetapi memiliki asumsi terbatas seperti *simplified polished rod motion* dan *full pump* (Bellarby, 2009).

Metode API RP 11L memiliki tingkat keakuratan yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode mills dalam perhitungan *Peak Polished Rod Load* (PPRL) dan *Peak Torque* (PT) (Takács, 1993). Dalam beberapa kasus, metode API cocok dengan hasil yang diperoleh di lapangan dan lebih baik daripada dua metode lainnya. Metode API paling mudah dijelaskan melalui penggunaan formulir perhitungan yang dapat dilihat pada gambar 2.3 (Jennings, 1989).

**DESIGN CALCULATIONS for SUCKER ROD PUMPING SYSTEMS (based on API RP 11L)**

Required Data:

Fluid Level, H = \_\_\_\_\_ ft.      Pumping Speed, N = \_\_\_\_\_ SPM      Plunger Diameter, D = \_\_\_\_\_ in.  
Pump Depth, L = \_\_\_\_\_ ft.      Length of Stroke, S = \_\_\_\_\_ in.      Spec. Grav. of Fluid, G = \_\_\_\_\_  
Tubing Size \_\_\_\_\_ in.      Anchored?    Yes \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_  
Sucker Rod \_\_\_\_\_      Rod Volume, V<sub>r</sub> = \_\_\_\_\_ ft-in<sup>2</sup>

Factors from API Tables 1 & 2 (Calculated from formulas for Fiberglass rod strings)

1. W<sub>r</sub> = \_\_\_\_\_ lb/ft.      2. F<sub>c</sub> = \_\_\_\_\_      3. E<sub>r</sub> = \_\_\_\_\_ in/lb-ft.  
4. E<sub>t</sub> = \_\_\_\_\_ in/lb-ft.

Calculate Non-Dimensional Variables:

5. F<sub>0</sub> = 0.34 x G x D<sup>2</sup> x H = 0.34 x \_\_\_\_\_ x \_\_\_\_\_ x \_\_\_\_\_ = \_\_\_\_\_ lbs.  
6. 1/k<sub>r</sub> = E<sub>r</sub> x L = \_\_\_\_\_ x \_\_\_\_\_ = \_\_\_\_\_ in/lb.  
7. Sk<sub>r</sub> = S + 1/k<sub>r</sub> = \_\_\_\_\_ + \_\_\_\_\_ = \_\_\_\_\_ lbs.  
8. F<sub>0</sub>/Sk<sub>r</sub> = \_\_\_\_\_ + \_\_\_\_\_ = \_\_\_\_\_  
9. a<sub>0</sub> = 19.7 \* √(E<sub>r</sub>W<sub>r</sub>) = 19.7 \* √( \_\_\_\_\_ x \_\_\_\_\_ ) = \_\_\_\_\_ ft/sec  
10. N/N<sub>0</sub> = N x L + (15 x a<sub>0</sub>) = \_\_\_\_\_ x \_\_\_\_\_ + (15 x \_\_\_\_\_) = \_\_\_\_\_  
11. N/N<sub>0</sub> = N/N<sub>0</sub> + F<sub>c</sub> = \_\_\_\_\_ + \_\_\_\_\_ = \_\_\_\_\_  
12. 1/k<sub>t</sub> = E<sub>t</sub> x L = \_\_\_\_\_ x \_\_\_\_\_ = \_\_\_\_\_ in/lb.

Solve for S<sub>p</sub> and PD:

13. S<sub>p</sub>S = \_\_\_\_\_  
14. S<sub>p</sub> = [(S<sub>p</sub>/S) x S] - [F<sub>0</sub> x 1/k<sub>t</sub>] = [ \_\_\_\_\_ x \_\_\_\_\_ ] - [ \_\_\_\_\_ x \_\_\_\_\_ ] = \_\_\_\_\_ in.  
15. PD = 0.1166 x S<sub>p</sub> x N x D<sup>2</sup> = 0.1166 x \_\_\_\_\_ x \_\_\_\_\_ x \_\_\_\_\_ = \_\_\_\_\_ BPD

Determine Non-Dimensional Parameters:

16. W = W<sub>r</sub> x L = \_\_\_\_\_ x \_\_\_\_\_ = \_\_\_\_\_ lbs  
17. W<sub>ff</sub> = W - 0.463 x G x V<sub>r</sub> = \_\_\_\_\_ - 0.463 x \_\_\_\_\_ x \_\_\_\_\_ = \_\_\_\_\_ lbs  
18. W<sub>ff</sub>/Sk<sub>r</sub> = \_\_\_\_\_ + \_\_\_\_\_ = \_\_\_\_\_

Record Non-Dimensional Factors from API RP 11L Figures

19. F<sub>1</sub>/Sk<sub>r</sub> = \_\_\_\_\_      20. F<sub>2</sub>/Sk<sub>r</sub> = \_\_\_\_\_      21. 2T/S<sup>2</sup>k<sub>r</sub> = \_\_\_\_\_  
22. F<sub>3</sub>/Sk<sub>r</sub> = \_\_\_\_\_      23. T<sub>a</sub> = \_\_\_\_\_

Solve for Operating Characteristics (C = Conventional, M = Mark II, A = Air Balance)

24. PPRL(C) = W<sub>ff</sub> + [(F<sub>1</sub>/Sk<sub>r</sub>) x Sk<sub>r</sub>] = \_\_\_\_\_ + [ \_\_\_\_\_ x \_\_\_\_\_ ] = \_\_\_\_\_ lbs.  
PPRL(M) = W<sub>ff</sub> + 0.75x[(F<sub>1</sub>/Sk<sub>r</sub>)xSk<sub>r</sub>] + 0.25xF<sub>0</sub> = \_\_\_\_\_ + 0.75x[ \_\_\_\_\_ x \_\_\_\_\_ ] + 0.25x \_\_\_\_\_ = \_\_\_\_\_ lbs.  
PPRL(A) = W<sub>ff</sub> + 0.85x[(F<sub>1</sub>/Sk<sub>r</sub>)xSk<sub>r</sub>] + 0.15xF<sub>0</sub> = \_\_\_\_\_ + 0.85x[ \_\_\_\_\_ x \_\_\_\_\_ ] + 0.15x \_\_\_\_\_ = \_\_\_\_\_ lbs.

25. MPRL(C) = W<sub>ff</sub> - [(F<sub>2</sub>/Sk<sub>r</sub>) x Sk<sub>r</sub>] = \_\_\_\_\_ - [ \_\_\_\_\_ x \_\_\_\_\_ ] = \_\_\_\_\_ lbs.  
MPRL(M) = PPRL(M) - [(F<sub>2</sub>+F<sub>1</sub>)/Sk<sub>r</sub>]xSk<sub>r</sub> = \_\_\_\_\_ - [( \_\_\_\_\_ + \_\_\_\_\_ ) x \_\_\_\_\_ ] = \_\_\_\_\_ lbs.  
MPRL(A) = PPRL(A) - [(F<sub>2</sub>+F<sub>1</sub>)/Sk<sub>r</sub>]xSk<sub>r</sub> = \_\_\_\_\_ - [( \_\_\_\_\_ + \_\_\_\_\_ ) x \_\_\_\_\_ ] = \_\_\_\_\_ lbs.

26. PT(C) = 0.5 x (2T/S<sup>2</sup>k<sub>r</sub>) x Sk<sub>r</sub> x S x T<sub>a</sub> = 0.5 x \_\_\_\_\_ x \_\_\_\_\_ x \_\_\_\_\_ x \_\_\_\_\_ = \_\_\_\_\_ in-lbs.  
PT(M) = 0.48 x (2T/S<sup>2</sup>k<sub>r</sub>) x Sk<sub>r</sub> x S x T<sub>a</sub> = 0.48 x \_\_\_\_\_ x \_\_\_\_\_ x \_\_\_\_\_ x \_\_\_\_\_ = \_\_\_\_\_ in-lbs.  
PT(A) = [0.233xPPRL(A) - 0.3xMPRL(A)] x S = [0.233x \_\_\_\_\_ - 0.3x \_\_\_\_\_ ] x \_\_\_\_\_ = \_\_\_\_\_ in-lbs.

27. PRHP = 2.53x10<sup>-6</sup>x(F<sub>3</sub>/Sk<sub>r</sub>)xSk<sub>r</sub>xSxN = 2.53x10<sup>-6</sup>x \_\_\_\_\_ x \_\_\_\_\_ x \_\_\_\_\_ x \_\_\_\_\_ = \_\_\_\_\_ hp

28. CBE(C) = 1.06 x (W<sub>ff</sub> + 0.5 x F<sub>0</sub>) = 1.06 x ( \_\_\_\_\_ + 0.5 x \_\_\_\_\_ ) = \_\_\_\_\_ lbs.  
CBE(M) = 0.53 x (PPRL + MPRL) = 0.53 x ( \_\_\_\_\_ + \_\_\_\_\_ ) = \_\_\_\_\_ lbs.  
CBE(A) = 0.52 x (PPRL + 1.25 x MPRL) = 0.52 x ( \_\_\_\_\_ + 1.25 x \_\_\_\_\_ ) = \_\_\_\_\_ lbs.

**Gambar 2.3** Desain perhitungan SRP berdasarkan API RP 11L (Jennings, 1989).

### 3. Metode Gibbs

Metode Gibbs dapat memecahkan persamaan diferensial parsial dengan *artificial lift software*, memiliki asumsi penyederhanaan paling sedikit. Metode ini memiliki fleksibilitas untuk mensimulasikan hampir semua *sucker rod system* (Bellarby, 2009; Lea & Robison, 2012).

Setelah didapatkan desain SRP yang akan digunakan, lalu kita mencocokkan tipe SRP yang tersedia secara umum. API membuat klasifikasi SRP yang dapat digunakan sebagai acuan setelah perhitungan desain SRP sudah didapatkan, klasifikasi ini dapat dilihat pada gambar 2.4.

Designation	Reducer Rating in.-lb (Nm)	Structure Capacity lb (N)	Max. Stroke Length in. (mm)
6-4-32-16	6,400 (723)	3,200 (14,234)	16 (406)
6-4-21-24	6,400 (723)	2,100 (9,341)	24 (610)
10-32-24	10,000 (1,130)	3,200 (14,234)	24 (610)
10-40-20	10,000 (1,130)	4,000 (17,793)	20 (508)
16-27-30	16,000 (1,808)	2,700 (12,010)	30 (762)
16-53-30	16,000 (1,808)	5,300 (23,576)	30 (762)
25-53-30	25,000 (2,825)	5,300 (23,576)	30 (762)
25-56-36	25,000 (2,825)	5,600 (24,910)	36 (914)
25-67-36	25,000 (2,825)	6,700 (29,803)	36 (914)
40-89-36	40,000 (4,519)	8,900 (39,589)	36 (914)
40-76-42	40,000 (4,519)	7,600 (33,806)	42 (1,067)
40-89-42	40,000 (4,519)	8,900 (39,589)	42 (1,067)
40-76-48	40,000 (4,519)	7,600 (33,806)	48 (1,219)
57-76-42	57,000 (6,440)	7,600 (33,806)	42 (1,067)
57-89-42	57,000 (6,440)	8,900 (39,589)	42 (1,067)
57-95-48	57,000 (6,440)	9,500 (42,256)	48 (1,219)
57-109-48	57,000 (6,440)	10,900 (48,486)	48 (1,219)
57-76-54	57,000 (6,440)	7,600 (33,806)	54 (1,372)
80-109-48	80,000 (9,039)	10,900 (48,486)	48 (1,219)
80-133-48	80,000 (9,039)	13,300 (59,161)	48 (1,219)
80-119-54	80,000 (9,039)	11,900 (52,934)	54 (1,372)
80-133-54	80,000 (9,039)	13,300 (59,161)	54 (1,372)
80-119-64	80,000 (9,039)	11,900 (52,934)	64 (1,626)
114-133-54	114,000 (12,880)	13,300 (59,161)	54 (1,372)
114-143-64	114,000 (12,880)	14,300 (63,610)	64 (1,626)
114-173-64	114,000 (12,880)	17,300 (76,954)	64 (1,626)
114-143-74	114,000 (12,880)	14,300 (63,610)	74 (1,880)
114-119-86	114,000 (12,880)	11,900 (52,934)	86 (2,184)
160-173-64	160,000 (18,078)	17,300 (76,954)	64 (1,626)
160-143-74	160,000 (18,078)	14,300 (63,610)	74 (1,880)
160-173-74	160,000 (18,078)	17,300 (76,954)	74 (1,880)
160-200-74	160,000 (18,078)	20,000 (88,964)	74 (1,880)
160-173-86	160,000 (18,078)	17,300 (76,954)	86 (2,184)
228-173-74	228,000 (25,761)	17,300 (76,954)	74 (1,880)
228-200-74	228,000 (25,761)	20,000 (88,964)	74 (1,880)
228-213-86	228,000 (25,761)	21,300 (94,747)	86 (2,184)
228-246-86	228,000 (25,761)	24,600 (109,426)	86 (2,184)
228-173-100	228,000 (25,761)	17,300 (76,954)	100 (2,540)
228-213-120	228,000 (25,761)	21,300 (94,747)	120 (3,048)

Gambar 2.4 SRP designation (API, 2013)

## 2.4 STATE OF THE ART

Suyono, Suherman, & Herlina (2018) melakukan suatu penelitian mengenai kajian teknis Pompa SRP untuk optimalisasi produksi sumur AS-100 di lapangan Serdang, dimana hasil dari desain SRP dengan menggunakan kombinasi rod 3/4 in, 7/8 in, dan 1 in didapatkan nilai *stress* yang terhitung sebesar 21,729.18 psi masih dibawah nilai *stress* maksimum yang diijinkan sebesar 24,475.65 psi. Setelah itu peneliti tersebut mendapatkan nilai laju hisap pompa (PD) sebesar 526.01 bfpd, nilai *peak torque* sebesar 352172.79 in-lbs, nilai *peak polished rod load* sebesar 17057.41 lbs. Dari hasil penelitian tersebut diketahui tipe SRP yang digunakan adalah C-640D-356-144.

Arini, Arief, & Prabu (2015) melakukan suatu penelitian mengenai optimasi produksi sumur 15A-X di lapangan Limau, dimana hasil dari desain SRP dengan menggunakan kombinasi rod 3/4 in, 7/8 in, dan 1 in didapatkan nilai *stress* yang terhitung sebesar 11959.51 psi masih dibawah nilai *stress* maksimum yang diijinkan sebesar 25621.65 psi. Setelah itu peneliti tersebut mendapatkan nilai laju hisap pompa (PD) sebesar 578.62 bfpd, nilai *peak torque* sebesar 239.851 in-lbs, nilai *peak polished rod load* sebesar 10304.74 lbs. Dari hasil penelitian tersebut diketahui tipe SRP yang digunakan adalah C-640D-365-144.

Penelitian yang dilakukan oleh Griffin, Fred D. (1976, 1968) mengenai keakuratan perhitungan API RP 11L, dimana hasil perhitungan PPRL untuk 77 sumur didapatkan tingkat keakuratan sebesar 1.41% dibandingkan dengan metode Mills sebesar -3.43%. Selain itu hasil perhtungan PT untuk 77 sumur didapatkan tingkat keakuratan sebesar 7.26% dibandingkan dengan metode Mills sebesar -18.8%. (Takacs, Sucker-Rod Pumping Handbook, 2015)

Reddy (2018) melakukan suatu perhitungan mengenai desain SRP menggunakan metode API RP 11L, dimana hasil perhitungannya dapat dilihat pada tabel 2.3 dibawah ini.

**Tabel 2.3** Hasil desain SRP yang dilakukan oleh Reddy menggunakan metode API RP 11L

No.	Parameter	Nilai	Satuan
1	$W_r$	1.833	lb/ft
2	$E_r$	$0.804 \times 10^{-6}$	in/lb-ft
3	$F_c$	1.082	-
4	$E_t$	$0.307 \times 10^{-6}$	in/lb-ft
5	$F_o$	3098	lbs
6	$1/k_r$	$4.020 \times 10^{-3}$	in/lb
7	$Sk_r$	13433	lbs
8	$F_o/Sk_r$	0.231	-
9	$N/No$	0.326	-
10	$N/No'$	0.321	-
11	$1/k_t$	$1.535 \times 10^{-3}$	in/lb
12	$S_p/S$	0.86	-
13	$S_p$	41.7	in
14	PD	175	bpd
15	W	9165	lbs
16	$W_{rf}$	8110	lbs
17	$W_{rf}/Sk_r$	0.604	-
18	$F_1/Sk_r$	0.465	-
19	$F_2/Sk_r$	0.213	-
20	$2T/S^2k_r$	0.37	-
21	$F_3/Sk_r$	0.29	-
22	$T_a$	0.997	-
23	PPRL	14356	lbs
24	MPRL	5249	lbs
25	PT	133793	in-lbs
26	PRHP	8.5	hp
27	CBE	10239	lbs

Sumber: (Reddy, 2018)

Ceylan, (2004) melakukan suatu perhitungan mengenai desain SRP menggunakan metode API RP 11L, dimana hasil perhitungannya dapat dilihat pada tabel 2.4 dibawah ini.

**Tabel 2.4** Hasil desain SRP yang dilakukan oleh Ceylan menggunakan metode API RP 11L

No	Parameter	Nilai
1	Torque (in-lbs)	267,603
2	PPRL (lbs)	16,691
3	MPRL (lbs)	699
4	CBE (lbs)	9,690
5	Pumping Speed (spm)	23.76
6	PRHP (hp)	26.2
7	BPD @ 100% Pump Efficiency	500
8	BPD @ 80% Pump Efficiency	400
9	M.C. Eng./Nema 'C' Mtr, HP	51.7
10	Max. Rod Stress (psi)	27,757
11	Min. Rod Stress (psi)	1,162
12	7/8 in. Rod Section (ft)	1,550
13	3/4 in. Rod Section (ft)	2,550
14	1/kt (in/lb)	0.292
15	1/kr (in/lb)	3.258
16	Sp (in)	58.9
17	Wr (lbs/ft)	1.857
18	Wrf (lbs)	6,780
19	Fo (lbs)	4,722
20	Skr (lbs)	19,642
21	Wrf/Skr	0.345
22	Fo/Skr	0.24
23	N/No	0.398
24	N/No'	0.365
25	Ta	0.986
26	Sp/S	1.001
27	F <sub>1</sub> /Skr	0.505
28	F <sub>2</sub> /Skr	0.31
29	F <sub>3</sub> /Skr	0.347
30	2T/S <sub>2</sub> kr	0.432

Sumber: (Ceylan, 2004)



## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 METODE PENELITIAN

#### 3.1.1 Metode API RP 11L

Dalam mendesain SRP ada beberapa data yang perlu diketahui dan/atau diasumsikan berdasarkan standar API RP 11L (Reddy, 2018; API, 1998) :

**Tabel 3.1** Data yang perlu diketahui dan/atau diasumsikan

No	Parameter	Satuan
1	Ketinggian kolom fluida (H)	ft
2	Kecepatan pemompaan (N)	SPM
3	Diameter <i>plunger</i> (D)	inches
4	Kedalaman pompa (L)	ft
5	Panjang langkah pemompaan (S)	inches
6	<i>Specific gravity of fluid</i> (G)	-
7	Ukuran tubing (T)	inches

Sumber : Reddy (2018) dan API (1998)

Dari data yang diketahui dan/atau diasumsikan diatas, maka dapat diketahui nilai dibawah ini berdasarkan API RP 11L yang dapat dilihat pada gambar 3.1 dan 3.2.

1. Massa jenis rod ( $W_r$ ), lb/ft
2. *Elastic constant rod* ( $E_r$ ), inch/lb-ft
3. *Frequency factor* ( $F_c$ )
4. *Elastic constant tubing* ( $E_t$ ), inch/lb-ft

1	2	3	4	5
Tubing Size	Outside Diameter, in.	Inside Diameter, in.	Metal Area, sq. in.	Elastic Constant, in. per lb ft $E_t$
1.900	1.900	1.610	0.800	$0.500 \times 10^{-6}$
2 $\frac{1}{4}$	2.375	1.995	1.304	$0.307 \times 10^{-6}$
2 $\frac{3}{4}$	2.875	2.441	1.812	$0.221 \times 10^{-6}$
3 $\frac{1}{4}$	3.500	2.992	2.590	$0.154 \times 10^{-6}$
4	4.000	3.476	3.077	$0.130 \times 10^{-6}$
4 $\frac{1}{2}$	4.500	3.958	3.601	$0.111 \times 10^{-6}$

**Gambar 3.1** Data ukuran tubing (API, 1998)

1 Rod* No.	2 Plunger Diam., inches D	3 Rod Weight, lb per ft W <sub>r</sub>	4 Elastic Constant, in. per lb ft E <sub>r</sub>	5 Frequency Factor, F <sub>e</sub>	6 Rod String, % of each size						
					7 1 1/8	8 1	9 3/4	10 3/8	11 1/2	12 1/4	
44	All	0.726	1.990 x 10 <sup>-6</sup>	1.000							100.0
54	1.06	0.908	1.668 x 10 <sup>-6</sup>	1.138						44.6	55.4
54	1.25	0.929	1.633 x 10 <sup>-6</sup>	1.140						49.5	50.5
54	1.50	0.957	1.584 x 10 <sup>-6</sup>	1.137						56.4	43.6
54	1.75	0.990	1.525 x 10 <sup>-6</sup>	1.122						64.6	35.4
54	2.00	1.027	1.460 x 10 <sup>-6</sup>	1.095						73.7	26.3
54	2.25	1.067	1.391 x 10 <sup>-6</sup>	1.061						83.4	16.6
54	2.50	1.108	1.318 x 10 <sup>-6</sup>	1.023						93.5	6.5
55	All	1.135	1.270 x 10 <sup>-6</sup>	1.000							100.0
64	1.06	1.164	1.382 x 10 <sup>-6</sup>	1.229					33.3	33.1	33.5
64	1.25	1.211	1.319 x 10 <sup>-6</sup>	1.215					37.2	35.9	26.9
64	1.50	1.275	1.232 x 10 <sup>-6</sup>	1.184					42.3	40.4	17.3
64	1.75	1.341	1.141 x 10 <sup>-6</sup>	1.145					47.4	45.2	7.4
65	1.06	1.307	1.138 x 10 <sup>-6</sup>	1.098					34.4	65.6	
65	1.25	1.321	1.127 x 10 <sup>-6</sup>	1.104					37.3	62.7	
65	1.50	1.343	1.110 x 10 <sup>-6</sup>	1.110					41.8	58.2	
65	1.75	1.369	1.090 x 10 <sup>-6</sup>	1.114					46.9	53.1	
65	2.00	1.394	1.070 x 10 <sup>-6</sup>	1.114					52.0	48.0	
65	2.25	1.426	1.045 x 10 <sup>-6</sup>	1.110					58.4	41.6	
65	2.50	1.460	1.018 x 10 <sup>-6</sup>	1.099					65.2	34.8	
65	2.75	1.497	0.990 x 10 <sup>-6</sup>	1.082					72.5	27.5	
65	3.25	1.574	0.930 x 10 <sup>-6</sup>	1.037					88.1	11.9	
66	All	1.634	0.883 x 10 <sup>-6</sup>	1.000							100.0
75	1.06	1.566	0.997 x 10 <sup>-6</sup>	1.191					27.0	27.4	45.6
75	1.25	1.604	0.973 x 10 <sup>-6</sup>	1.193					29.4	29.8	40.8
75	1.50	1.664	0.935 x 10 <sup>-6</sup>	1.189					33.3	33.3	33.3
75	1.75	1.732	0.892 x 10 <sup>-6</sup>	1.174					37.8	37.0	25.1
75	2.00	1.803	0.847 x 10 <sup>-6</sup>	1.151					42.4	41.3	16.3
75	2.25	1.875	0.801 x 10 <sup>-6</sup>	1.121					46.9	45.8	7.2
76	1.06	1.802	0.816 x 10 <sup>-6</sup>	1.072					28.5	71.5	
76	1.25	1.814	0.812 x 10 <sup>-6</sup>	1.077					30.6	69.4	
76	1.50	1.833	0.804 x 10 <sup>-6</sup>	1.082					33.8	66.2	
76	1.75	1.855	0.795 x 10 <sup>-6</sup>	1.088					37.5	62.5	
76	2.00	1.880	0.785 x 10 <sup>-6</sup>	1.093					41.7	58.3	
76	2.25	1.908	0.774 x 10 <sup>-6</sup>	1.096					46.5	53.5	
76	2.50	1.934	0.764 x 10 <sup>-6</sup>	1.097					50.8	49.2	
76	2.75	1.967	0.751 x 10 <sup>-6</sup>	1.094					56.5	43.5	
76	3.25	2.039	0.722 x 10 <sup>-6</sup>	1.078					68.7	31.3	
76	3.75	2.119	0.690 x 10 <sup>-6</sup>	1.047					82.3	17.7	
77	All	2.224	0.649 x 10 <sup>-6</sup>	1.000							100.0
85	1.06	1.883	0.873 x 10 <sup>-6</sup>	1.261		22.2	22.4	22.4		33.0	
85	1.25	1.943	0.841 x 10 <sup>-6</sup>	1.253		23.9	24.2	24.3		27.6	
85	1.50	2.039	0.791 x 10 <sup>-6</sup>	1.232		26.7	27.4	26.8		19.2	
85	1.75	2.138	0.738 x 10 <sup>-6</sup>	1.201		29.6	30.4	29.5		10.5	

Gambar 3.2 Data ukuran rod dan pump (API, 1998)

Setelah diketahui data tubing, rod, dan pump selanjutnya dapat dilakukan perhitungan variabel non-dimensi :

- Differential fluid load on full plunger (F<sub>o</sub>), lbs

$$F_o = 0.340 \times G \times D^2 \times H \dots\dots\dots (3)$$

- Elastic constant total rod string (1/k<sub>r</sub>), inch/lb

$$1/k_r = E_r \times L \dots\dots\dots (4)$$

- Pounds of load necessary to stretch total rod string an amount equal to polished rod stroke (Sk<sub>r</sub>), lbs

$$Sk_r = S \div \frac{1}{k_r} \dots\dots\dots (5)$$

8. Perbandingan antara beban *plunger* yang terisi penuh fluida ( $F_o$ ) dan massa yang dibutuhkan untuk membuat total *rod string* merenggang yang nilainya sama dengan *polished rod stroke* ( $Sk_r$ )

$$\frac{F_o}{Sk_r} \dots\dots\dots (6)$$

9. Perbandingan antara *pumping speed* ( $N$ ) dan *natural frequency of straight rod string* ( $N_o$ )

$$\frac{N}{N_o} = NL \div 245,000 \dots\dots\dots (7)$$

10. Perbandingan antara *pumping speed* ( $N$ ) dan *natural frequency of tapered rod string* ( $N_o'$ )

$$\frac{N}{N_o'} = \frac{N}{N_o} \div F_c \dots\dots\dots (8)$$

11. *Elastic constant* pada *unanchored portion of tubing string* ( $1/k_t$ ), inch/lb

$$\frac{1}{k_t} = E_t \times L \dots\dots\dots (9)$$

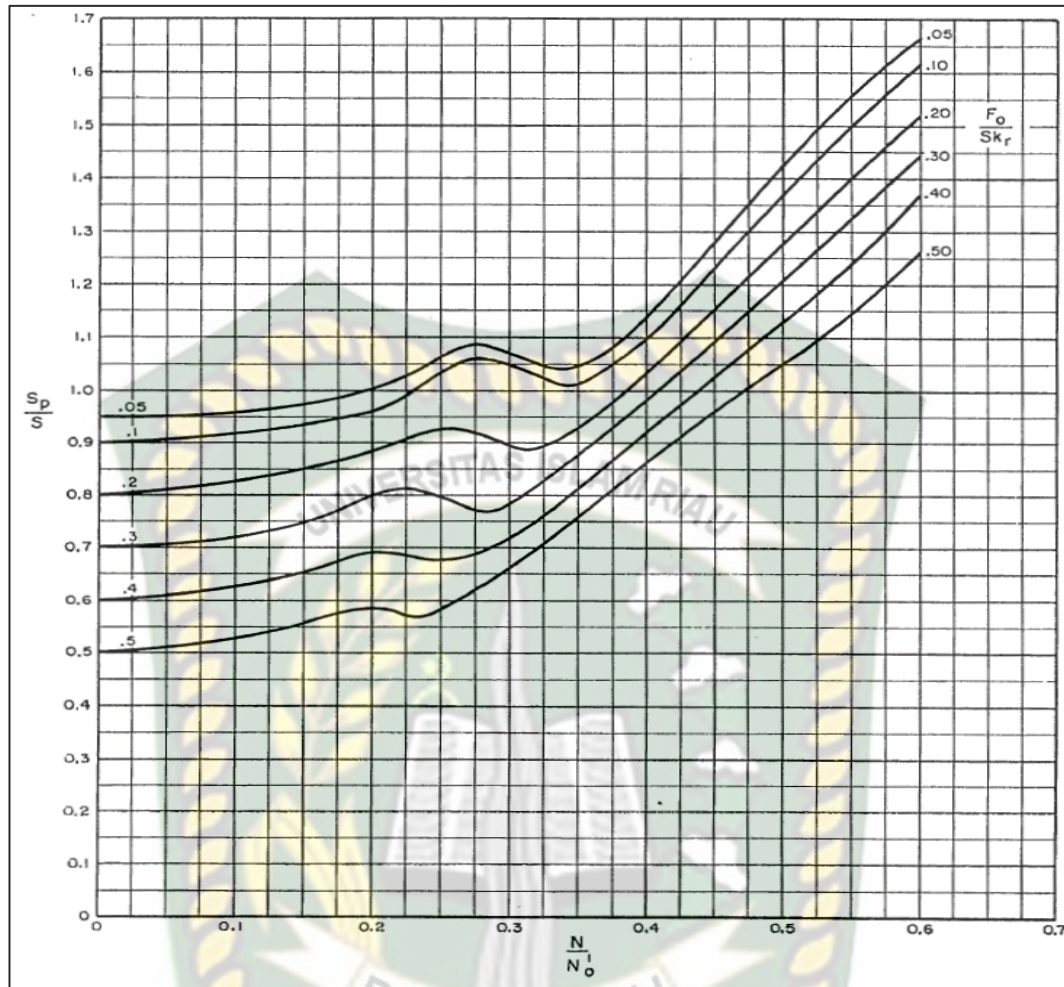
Jika *tubing* di-*anchored*, maka nilai  $1/k_t = 0$

Setelah menghitung variabel non-dimensi, selanjutnya melakukan perhitungan *bottom hole pump stroke* ( $S_p$ ) dan *pump displacement* (PD).

12. *Plunger stroke factor* ( $S_p/S$ )

$$\frac{S_p}{S} \dots\dots\dots (10)$$

Untuk mengetahui nilai *plunger stroke factor* ( $S_p/S$ ) dibutuhkan nilai  $F_o/Sk_r$  dan  $N/N_o'$ . Dari kedua data tersebut lalu ditarik garis pada gambar 3.3 untuk mendapatkan hasil *plunger stroke factor* ( $S_p/S$ ).



**Gambar 3.3** Plunger stroke factor ( $S_p/S$ ) (API, 1998)

13. *Bottom hole pump stroke* ( $S_p$ ), inches

$$S_p = [(S_p/S) \times S] - [F_o \times 1/k_t] \dots\dots\dots(11)$$

14. *Pump displacement* (PD), bpd

$$PD = 0.01166 \times S_p \times N \times D^2 \dots\dots\dots(12)$$

Langkah selanjutnya adalah menyelesaikan parameter non-dimensional

15. *Total weight of rods* di udara ( $W$ ), lbs

$$W = W_r \times L \dots\dots\dots(13)$$

16. *Total weight of rods* di dalam fluida ( $W_{rf}$ ), lbs

$$W_{rf} = W[1 - (0.128G)] \dots\dots\dots(14)$$

17. Perbandingan antara total *weight of rods* di dalam fluida ( $W_{rf}$ ) dan *pounds of load necessary to stretch total rod string an amount equal to polished rod stroke* ( $Sk_r$ )

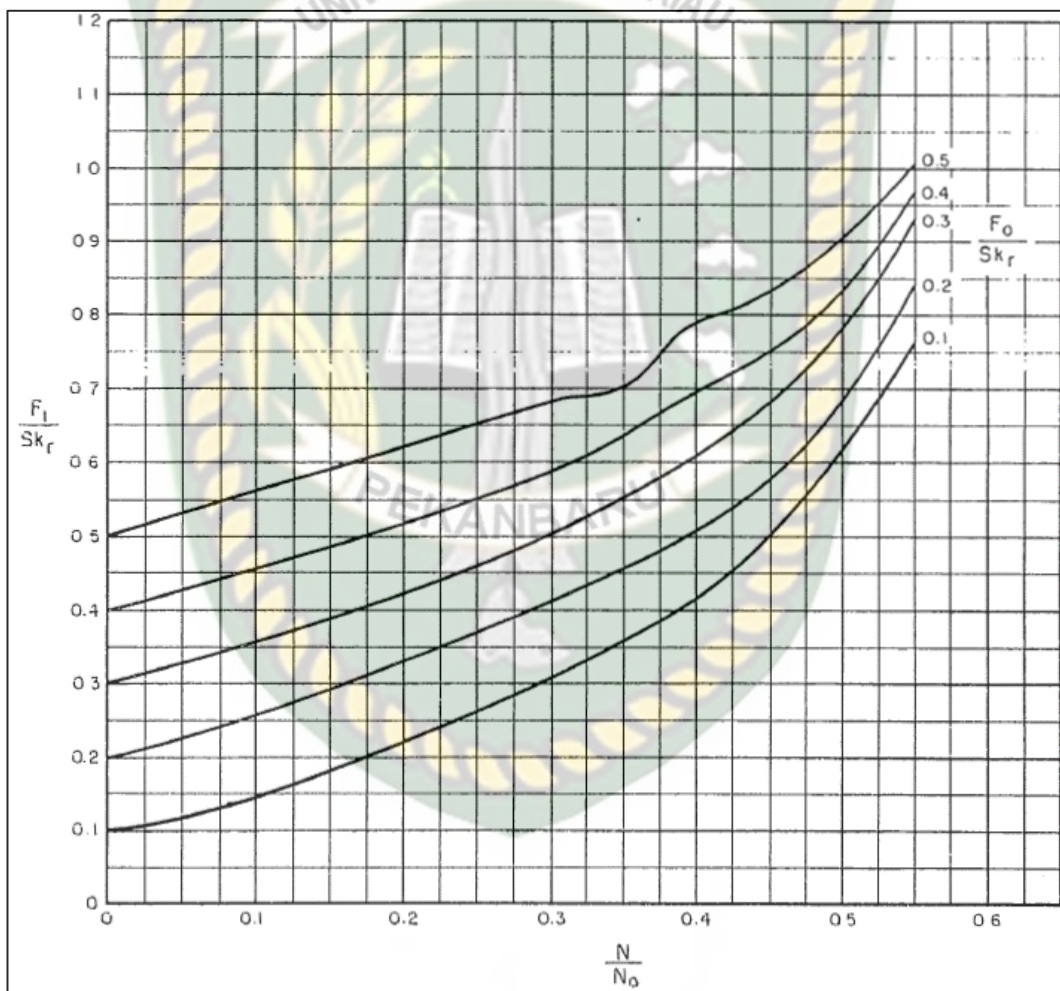
$$\frac{W_{rf}}{Sk_r} \dots\dots\dots (15)$$

Langkah selanjutnya menentukan faktor non-dimensional yang berdasarkan grafik dari API RP 11L

18. *Peak polished rod load factor* ( $F_1/Sk_r$ )

$$\frac{F_1}{Sk_r} \dots\dots\dots (16)$$

Perpustakaan Universitas Islam Riau  
Dokumen ini adalah Arsip Miilik :

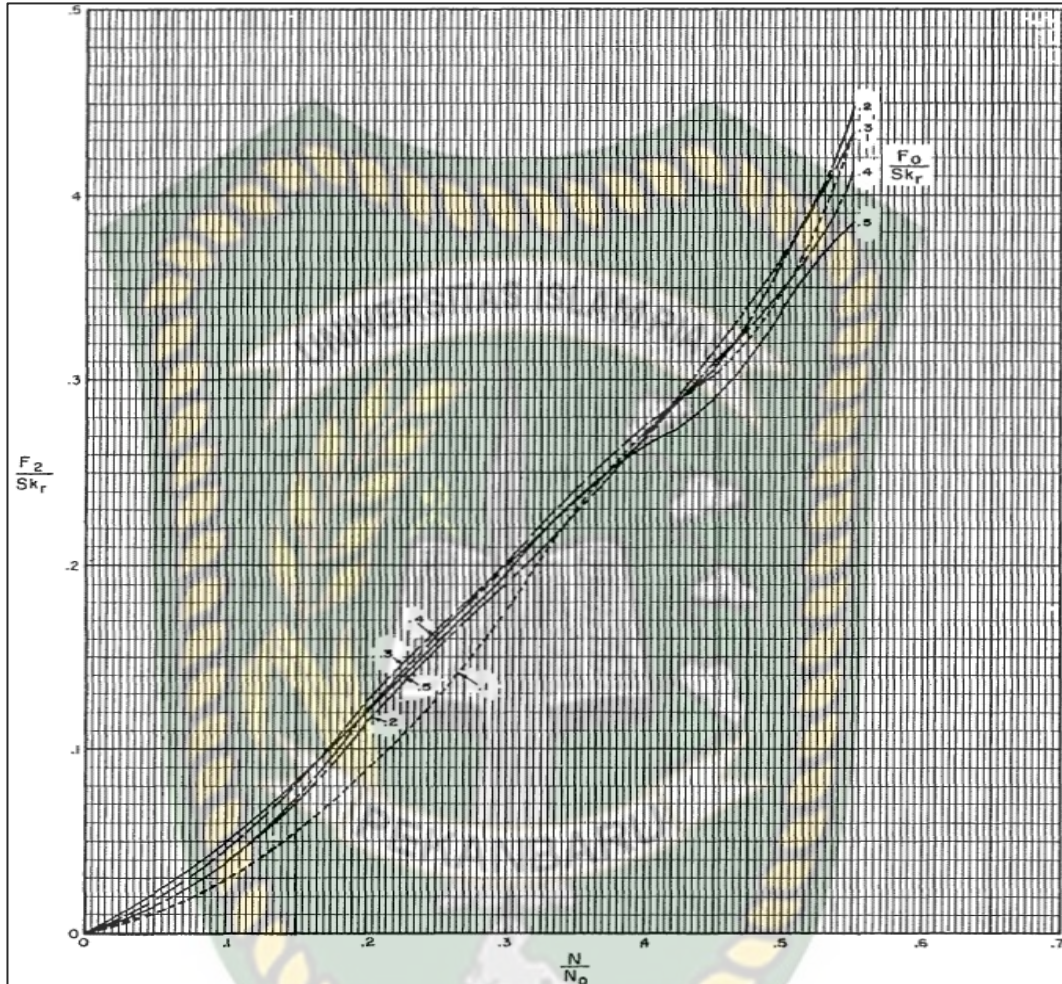


**Gambar 3.4** Peak polished rod load factor ( $F_1/Sk_r$ ) (API, 1998)

Untuk mengetahui nilai *peak polished rod load factor* ( $F_1/Sk_r$ ) dibutuhkan nilai  $F_o/Sk_r$  dan  $N/N_o$ . Dari kedua data tersebut lalu ditarik garis pada gambar 3.4 untuk mendapatkan hasil *peak polished rod load factor* ( $F_1/Sk_r$ ).

19. *Minimum polished rod load factor* ( $F_2/Sk_r$ )

$$\frac{F_2}{Sk_r} \dots\dots\dots(17)$$

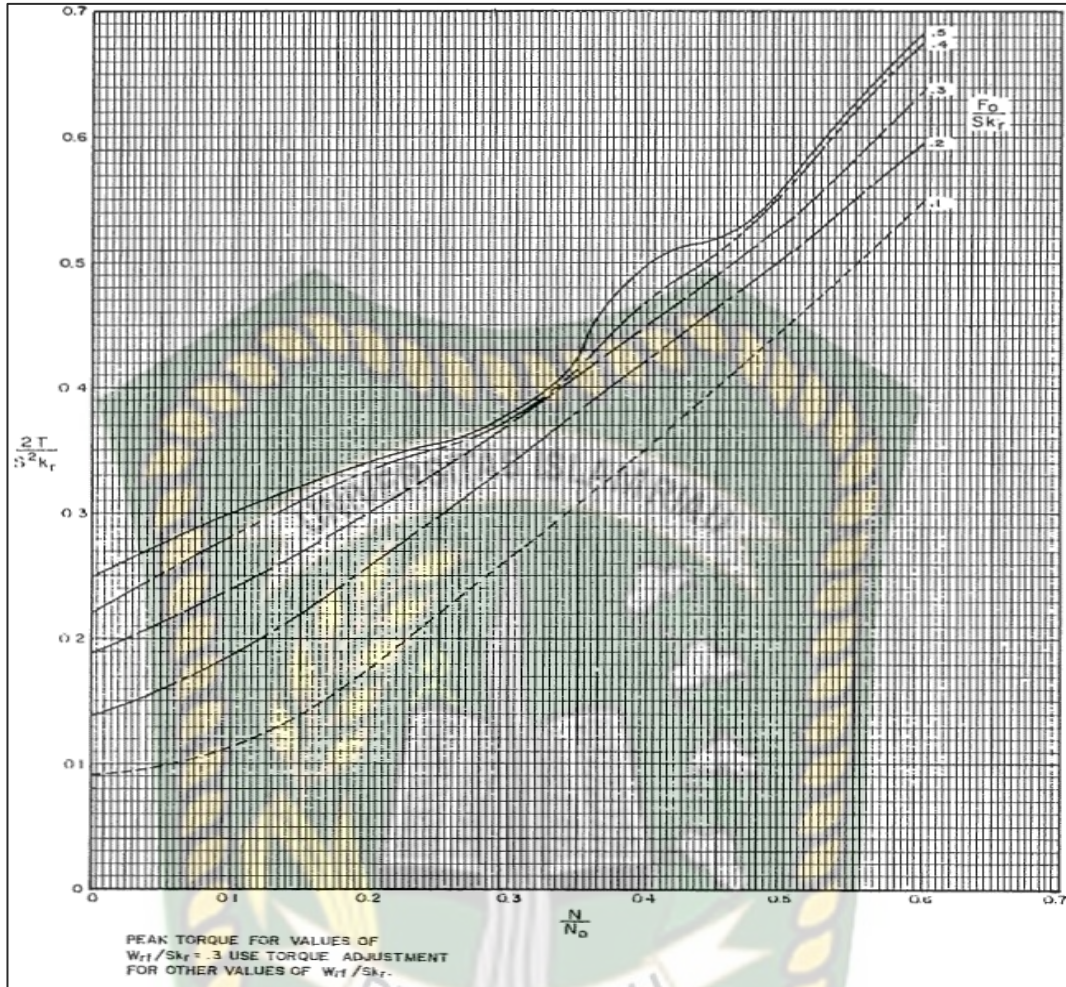


**Gambar 3.5** *Minimum polished rod load factor* ( $F_2/Sk_r$ ) (API, 1998)

Untuk mengetahui nilai *minimum polished rod load factor* ( $F_2/Sk_r$ ) dibutuhkan nilai  $F_o/Sk_r$  dan  $N/N_o$ . Dari kedua data tersebut lalu ditarik garis pada gambar 3.5 untuk mendapatkan hasil *minimum peak polished rod load factor* ( $F_2/Sk_r$ ).

20. *Peak torque factor* ( $2T/S^2kr$ )

$$\frac{2T}{S^2k_r} \dots\dots\dots(18)$$

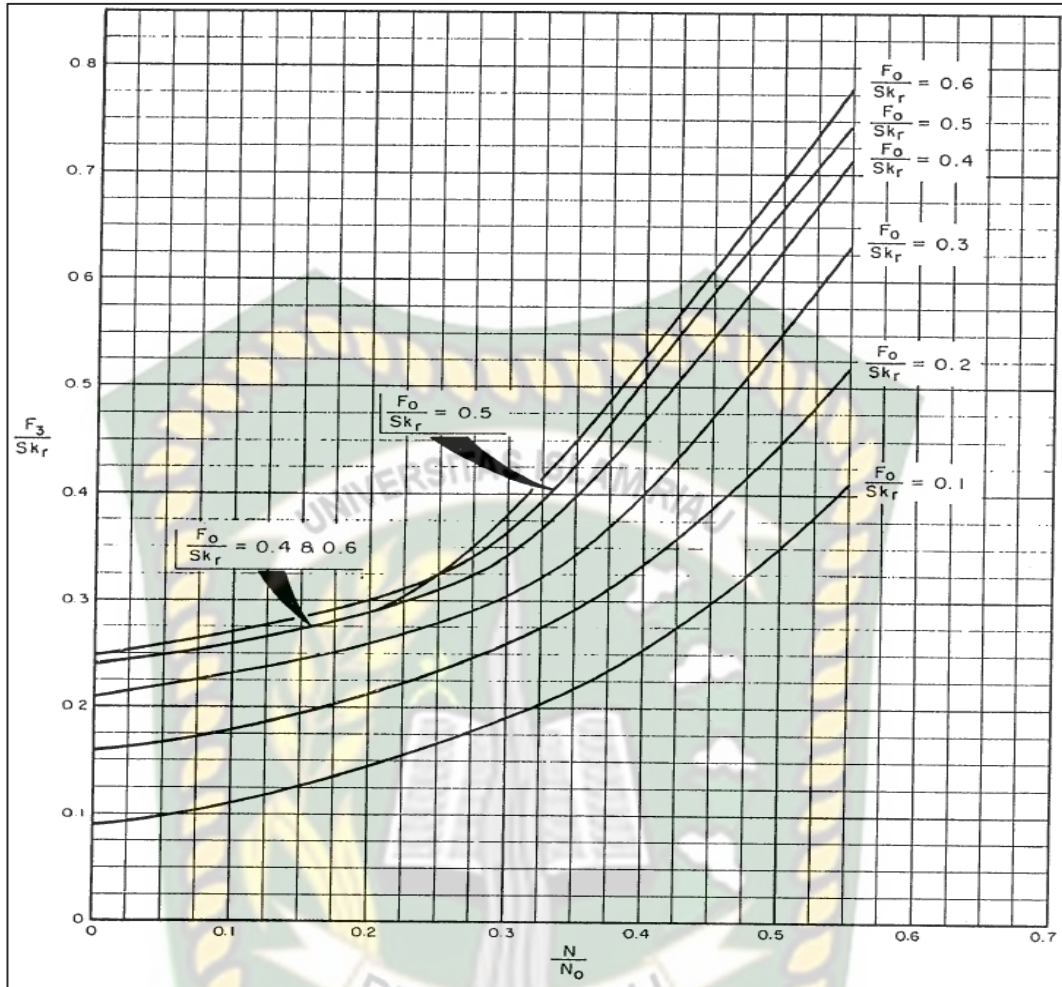


**Gambar 3.6** Peak torque factor ( $2T/S^2kr$ ) (API, 1998)

Untuk mengetahui nilai *peak torque factor* ( $2T/S^2kr$ ) dibutuhkan nilai  $F_0/Sk_r$  dan  $N/N_0$ . Dari kedua data tersebut lalu ditarik garis pada gambar 3.6 untuk mendapatkan hasil *peak torque factor* ( $2T/S^2kr$ ).

21. *Polished rod horse power factor* ( $F_3/Sk_r$ )

$$\frac{F_3}{Sk_r} \dots\dots\dots(19)$$



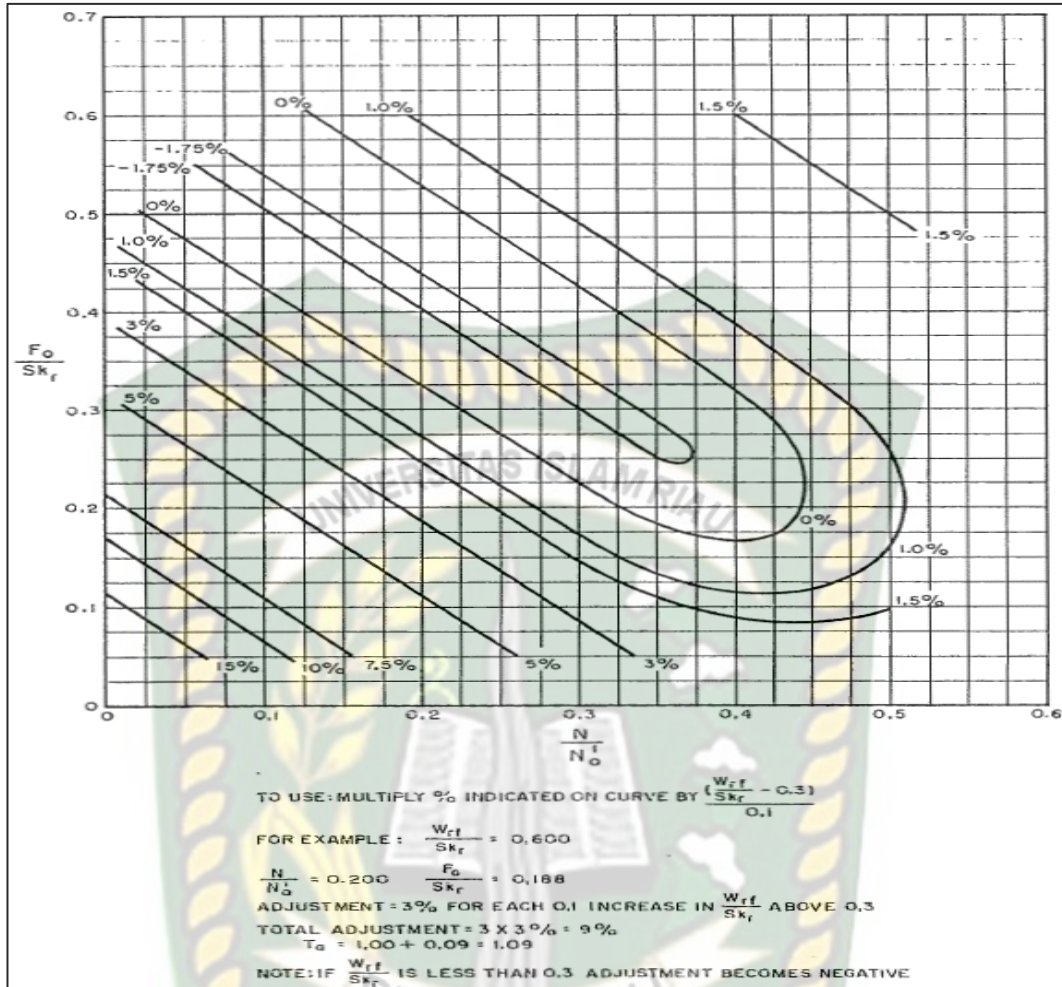
**Gambar 3.7** Polished rod horse power factor ( $F_3/S_{kr}$ ) (API, 1998)

Untuk mengetahui nilai *polished rod horse power factor* ( $F_3/S_{kr}$ ) dibutuhkan nilai  $F_o/S_{kr}$  dan  $N/N_o$ . Dari kedua data tersebut lalu ditarik garis pada gambar 3.7 untuk mendapatkan hasil *polished rod horse power factor* ( $F_3/S_{kr}$ ).

22. Torque adjustment constant for value of  $W_{rf}/S_{kr}$  lebih dari 0.3 ( $T_a$ )

$$T_a = 1 + (\text{Kenaikan nilai } W_{rf}/S_{kr} \times \text{Persentase yang terukur}) \dots \dots \dots (20)$$





**Gambar 3.8** Adjustment for peak torque (Ta) (API, 1998)

Untuk mengetahui nilai *adjustment for peak torque* (Ta) dibutuhkan nilai  $F_0/S_{kr}$  dan  $N/N_0$ . Dari kedua data tersebut lalu ditarik garis pada gambar 3.8 untuk mendapatkan nilai persentase *adjustment*.

Langkah terakhir adalah menghitung karakteristik operasi SRP.

23. *Peak polished rod load* (PPRL), lbs

$$PPRL = W_{rf} + [(F_1/S_{kr}) \times S_{kr}] \dots\dots\dots(21)$$

24. *Minimum polished rod load* (MPRL), lbs

$$MPRL = W_{rf} - [(F_2/S_{kr}) \times S_{kr}] \dots\dots\dots(22)$$

25. *Peak cranck torque* (PT), lb inches

$$PT = \left(\frac{2T}{S^2 K_r}\right) \times S_{kr} \times \frac{S}{2} \times T_a \dots\dots\dots(23)$$

26. *Polished road horsepower* (PRHP), HP

$$PRHP = (F_3/Sk_r) \times Sk_r \times \frac{S}{2} \times T_a \dots\dots\dots(24)$$

27. *Counterweight required* (CBE), lbs

$$CBE = 1.06 \left( W_{rf} + \frac{1}{2} F_o \right) \dots\dots\dots(25)$$

Setelah mendesain SRP sesuai standar API RP 11L yang diharapkan, langkah selanjutnya menghitung maksimum dan minimum *stress* yang timbul dari rod ketika beroperasi, serta maksimum *stress* yang diijinkan.

28. *Stress* (max), psi

$$Stress (max) = PPRL/A_r \dots\dots\dots(26)$$

29. *Stress* (min), psi

$$Stress (min) = MPRL/A_r \dots\dots\dots(27)$$

30. *Stress* (max. diijinkan), psi

$$Stress (max. diijinkan) = SF[(0.25 \times T_f) \times (0.5625 \times Stress (min))]$$

- grade API K (AISI 4621), *Minimum Tensile Strength*,  $T_f = 85,000$  psi
- grade API C (AISI 1536),  $T_f = 90,000$  psi
- grade API D (Carbon/Alloy),  $T_f = 115,000$  psi

\dots\dots\dots(28)

Nilai untuk *service factor* dapat dilihat pada gambar 3.9.

Environment	Service Factors	
	Grade C	Grade D
Non-corrosive	1.00	1.00
Salt Water	0.65	0.90
Hydrogen Sulfide	0.50	0.70

Gambar 3.9 *Service factor* (API, 1998)

### 3.1.2 Metode Mills

Dalam merancang peralatan SRP yang akan digunakan, ada beberapa hal yang harus ditentukan seperti beban maksimum dan minimum yang diterima *polished rod*. Beban yang ditanggung *polished rod* adalah gaya ke atas, beban *rod*, beban gesekan, beban percepatan, beban fluida, dan beban *plunger*. Untuk mempermudah dalam perhitungan desain SRP, penjumlahan dari beban *rod* dan gaya ke atas disebut juga dengan total beban *rod*. Pada umumnya beban yang ditimbulkan akibat *plunger* dan gesekan dapat diabaikan (Takács, 1993).

Dalam perhitungan beban maksimum dan minimum yang besarnya merupakan pengaruh dari percepatan, maka dapat digunakan “*Mills Acceleration Factor*” (Brown, 1980), yang dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\alpha = \frac{SN^2}{70,500} \dots\dots\dots (29)$$

Keterangan :

- $\alpha$  = *Mills acceleration factor*
- S = *Polished rod stroke (inch)*
- N = *Pumping speed (strokes per minute)*

Pada proses *upstroke*, beban *rod* akan bernilai maksimum, beban ini dapat disebut dengan *Peak Polished Rod Load (PPRL)*. Dalam perhitungan *peak polished rod load* menggunakan asumsi pergerakan *simple harmonic motion* dan efek *crank-pitman ratio* diabaikan untuk unit *conventional* (Brown, 1980), perhitungannya menggunakan rumus sebagai berikut :

$$PPRL = W_f + W(1 + \alpha) \dots\dots\dots (30)$$

Keterangan :

- PPRL = *Peak Polished Road Load (lbs)*
- $W_f$  = *Massa fluida (lbs)*
- W = *Massa static rod (lbs)*
- $\alpha$  = *Mills acceleration factor*

Pada proses *downstroke*, ketika *plunger* bergerak ke bawah akan terjadi percepatan maksimum, titik ini adalah beban minimum yang terjadi pada *polished rod* yang dapat disebut dengan *Minimum Polished Rod Load (MPRL)*.

$$MPRL = W(1 - \alpha - 0.127G) \dots\dots\dots (31)$$

Keterangan :

- MPRL = *Minimum polished rod load, (lbs)*
- W = *Massa static rod (lbs)*
- G = *Specific gravity of fluid*
- $\alpha$  = *Mills acceleration factor*

Massa fluida ( $W_f$ ) merupakan massa fluida yang terangkat oleh *plunger* (Brown, 1980).

$$W_f = 0.433 GL(A_p - A_r) \dots\dots\dots (32)$$

Keterangan :

$W_f$  = Massa fluida (lbs)

$L$  = Panjang *rod string* (ft)

$A_p$  = Luas permukaan *plunger* (inch<sup>2</sup>)

$A_r$  = Luas permukaan *rod* (inch<sup>2</sup>)

Massa *static rod* ( $W_r$ ) merupakan massa dasar *rod* yang diakibatkan oleh massa jenis *rod* (Brown, 1980).

$$W = W_r \times L \dots\dots\dots(33)$$

Keterangan :

$W$  = Massa *static rod* (lbs)

$W_r$  = Massa jenis *rod* (lbs/ft)

$L$  = Panjang *rod string* (ft)

Untuk perhitungan *Polished Rod Horse Power* (PRHP), dapat menggunakan rumus dibawah ini :

$$PRHP = \frac{SN(PPRL-MRPL)}{750000} \dots\dots\dots(34)$$

Keterangan :

PRHP = *Polished rod horse power* (HP)

$S$  = *Length of stroke* (inch)

$N$  = *Pumping speed* (SPM)

PPRL = *Peak polished rod load* (lbs)

MPRL = *Minimum polished rod load* (lbs)

Dalam perhitungan PPRL dan MPRL, dengan memperhitungkan geometri perbandingan rasio *crank* dan *pitman* dapat dilihat pada gambar 3.10.

FORCES AND ACCELERATIONS FOR THREE TYPES OF PUMPING MOTION  
(INELASTIC, CONCENTRATED MASS SYSTEMS)

	SIMPLE HARMONIC MOTION	CRANK AND PITMAN MOTION (CLASS I LEVER)	CRANK AND PITMAN MOTION (CLASS III LEVER)
		CONVENTIONAL UNIT	MARK II
		Crank/Pitman Ratios	Crank/Pitman Ratios
		64" -- .32	64" -- .12
		74" -- .33	74" -- .13
		86" -- .33	86" -- .15
		100" -- .33	100" -- .15
		120" -- .27	120" -- .15
		144" -- .26	144" -- .16
		168" -- .22	168" -- .15
			192" -- .19
			216" -- .17
			240" -- .18
Maximum Off-Bottom Acceleration (Ft/Sec <sup>2</sup> )	$A_{max} = \frac{SN^2}{2189}$	$A_{max1} = \frac{SN^2 (1 + \frac{C}{P})}{2189}$	$A_{max1} = \frac{SN^2 (1 - \frac{C}{P})}{2189}$
Maximum Off-Top Acceleration (Ft/Sec <sup>2</sup> )	$A_{max} = \frac{SN^2}{2189}$	$A_{max2} = \frac{SN^2 (1 - \frac{C}{P})}{2189}$	$A_{max2} = \frac{SN^2 (1 + \frac{C}{P})}{2189}$
Inertial Polished Rod Force Component (Off-Bottom) (Lbs.)	$I_F = \frac{W_1 \times SN^2}{70,500}$	$I_{F1} = \frac{W_1 \times SN^2 (1 + \frac{C}{P})}{70,500}$	$I_{F1} = \frac{W_1 \times SN^2 (1 - \frac{C}{P})}{70,500}$
Inertial Polished Rod Force Component (Off-Top)	$I_F = \frac{W_2 \times SN^2}{70,500}$	$I_{F2} = \frac{W_2 \times SN^2 \times (1 - \frac{C}{P})}{70,500}$	$I_{F2} = \frac{W_2 \times SN^2 \times (1 + \frac{C}{P})}{70,500}$
Peak Polished Rod Load	$PPRL = W_1 \left(1 + \frac{SN^2}{70,500}\right)$	$PPRL = W_1 + \frac{W_1 \times SN^2 \times (1 + \frac{C}{P})}{70,500}$	$PPRL = W_1 + \frac{W_1 \times SN^2 \times (1 - \frac{C}{P})}{70,500}$
Minimum Polished Rod Load	$MPRL = W_2 \left(1 - \frac{SN^2}{70,500}\right)$	$MPRL = W_2 - \frac{W_2 \times SN^2 \times (1 - \frac{C}{P})}{70,500}$	$MPRL = W_2 - \frac{W_2 \times SN^2 \times (1 + \frac{C}{P})}{70,500}$

WHERE:

- S = Stroke Length (In.)
- N = Strokes Per Minute (SPM)
- $\frac{C}{P}$  = Crank-Pitman Ratio
- W<sub>1</sub> = Weight of Rods and Fluid = W<sub>r</sub> + W<sub>f</sub>
- W<sub>2</sub> = Weight of Buoyant Rods = W<sub>r</sub> (1 - 0.1276)

Gambar 3.10 Perhitungan beban rod (Brown, 1980)

Untuk menghitung *Peak Net Torque* dapat menggunakan rumus dibawah ini, dimana *Peak Net Torque* adalah jumlah torsi yang diperlukan untuk menggerakkan *polished rod* dan *counterweights*. Nilai aktual torsi juga sangat bergantung pada *counterbalancing unit* (Pandya, 2019; Jennings, 1989).

$$CBE = \frac{PPRL + MPRL}{2} \dots\dots\dots (35)$$

$$PT = 0.283 \times S(PPRL - MPRL) \dots\dots\dots (36)$$

Keterangan :

CBE = *Counterweight required*, lbs

PT = *Peak net torque*, in lbs

S = *Polished rod stroke length*, in

Untuk perhitungan *Pump Displacement* (PD) dapat digunakan rumus dibawah ini (Pandya, 2019; Jennings, 1989).

$$PD = 0.1484 \times A_p \times S_p \times N \dots\dots\dots (37)$$

Keterangan :

PD = *Total displacement by pump, bpd*

$A_p$  = *Crosssection area of the pump plunger in, square inch*

$S_p$  = *The effective plunger stroke, in*

$N$  = *The pumping speed in number of strokes per minute*

Dimana nilai  $S_p$  dapat dicari menggunakan rumus (Jennings, 1989):

$$S_p = S + e_p - (e_t + e_r) \dots\dots\dots (38)$$

$$e_p = 40.8 \times \frac{L^2 \alpha}{Y_r} \dots\dots\dots (39)$$

$$e_t = 12 \frac{(W_f + 0.127GW_r)L}{A_t Y_t} \dots\dots\dots (40)$$

$$e_r = 12W_f \left( \frac{L_1}{Y_1 A_{r1}} + \dots + \frac{L_n}{Y_n A_{rn}} \right) \dots\dots\dots (41)$$

Keterangan :

$S_p$  = *Pump stroke length, in*

$e_p$  = *Elongation of rods due to acceleration, in*

$e_t$  = *Elongation of unachored tubing due to fluid load, in*

$e_r$  = *Elongation of rods due to gravity, in*

$Y_r$  = *Youngs modulus for rod material, psi*

$Y_t$  = *Youngs modulus for tubing material, psi*

$A_r$  = *Cross-section area of rod, in<sup>2</sup>*

$A_t$  = *Cross-section area of tubing wall, in<sup>2</sup>*

### 3.2 FLOWCHART



**Gambar 3.11** Diagram alir penelitian

### 3.3 JENIS PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan metode studi lapangan atau *case study*. Dimana data yang digunakan untuk penelitian berupa data sekunder yang didapat dari perusahaan tempat pelaksanaan Tugas Akhir.

#### 3.3.1 Data Sumur Cameo-14 Lapangan Chevy

Dibawah ini merupakan data sumur cameo-14 lapangan chevy yang digunakan dalam penelitian.

**Tabel 3.2** Data sumur cameo-14 lapangan chevy

No.	Parameter	Nilai
1	Ukuran <i>tubing</i> (T)	2- <sup>7</sup> / <sub>8</sub> in Anchored
2	Kecepatan pemompaan (N) & Panjang langkah pemompaan (S)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 8.5 SPM &amp; 24 in</li> <li>• 13.3 SPM &amp; 24 in</li> <li>• 8.25 SPM &amp; 48 in</li> </ul>
3	Tipe <i>sucker rods</i>	37.5% - <sup>7</sup> / <sub>8</sub> in dan 62.5% - <sup>3</sup> / <sub>4</sub> in (Rod no.76)
4	Material <i>sucker rods</i>	AISI 1536
5	Diameter <i>plunger</i> (D)	1.75 in
6	<i>Specific gravity fluid</i> (G)	0.82
7	<i>Safety factor</i> (SF)	1 (lingkungan normal)

### 3.4 TEMPAT DAN JADWAL PENELITIAN

Tempat penelitian dan data yang digunakan berasal dari salah satu perusahaan yang berlokasi di Riau. Penelitian ini akan dilakukan selama 3 bulan yang dimulai dari bulan Desember 2020 sampai dengan Februari 2021 yang dapat dilihat pada tabel 3.2.

**Tabel 3.3** Jadwal Penelitian

Jenis Kegiatan	Waktu Pelaksanaan (Minggu)												
	Januari 2021				Februari 2021				Maret 2021				
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
Studi Literatur													
Seminar Proposal													
Pengumpulan Data dan Riset Lapangan													
Hasil dan Pembahasan													



## BAB IV PEMBAHASAN

### 4.1 PEMBUATAN KURVA IPR

Pembuatan kurva IPR sumur cameo-14 dilakukan untuk mengetahui produktivitas sumur sebelum dilakukannya optimasi. Pada pembuatan kurva IPR ini peneliti menggunakan metode Vogel. Hal ini dikarenakan pada sumur cameo-14 terdapat dua fasa fluida, dengan asumsi nilai skin disekitar sumur sama dengan nol, nilai tekanan reservoir ( $P_r$ ) dibawah nilai tekanan saturasi ( $P_b$ ), dan reservoir memiliki tenaga pendorong (*drive mechanism*) berupa gas terlarut.

Di bawah ini merupakan hasil perhitungan yang dilakukan dalam pembuatan kurva IPR menggunakan metode Vogel.

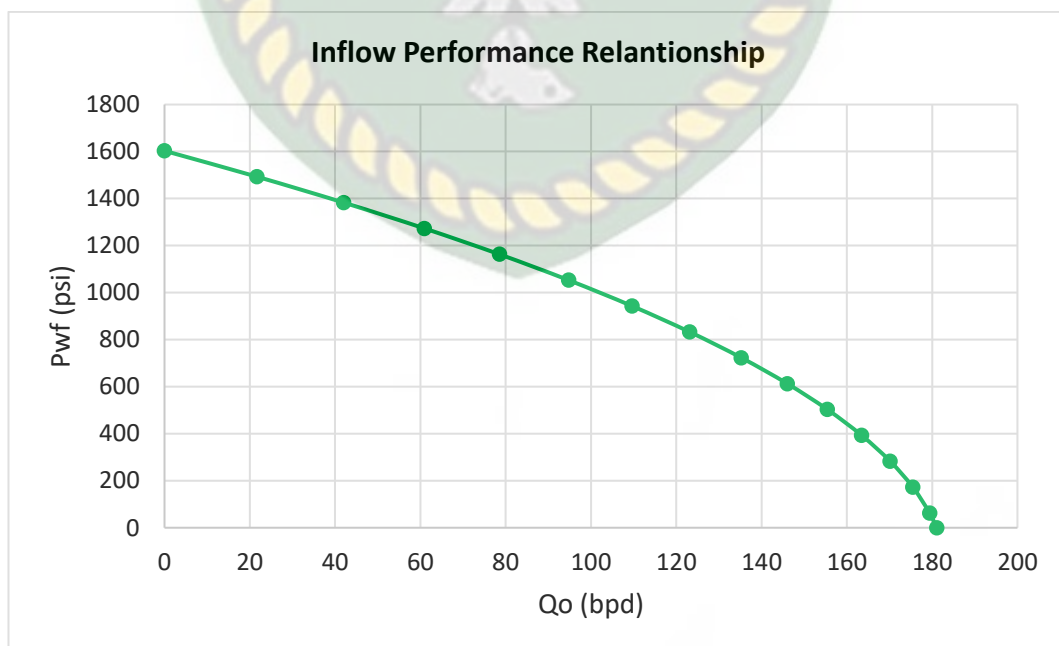
**Tabel 4.1** Perhitungan pembuatan kurva IPR

Parameter	Nilai	Satuan
$P_{wf}$	1302.507	psig
$Q_{omax}$	181.048	bpd
$Q_f$	102.094	bpd

Berdasarkan hasil perhitungan dalam pembuatan kurva IPR pada tabel 4.1, sumur cameo-14 memiliki tekanan alir dasar sumur ( $P_{wf}$ ) sebesar 1302.507 psig, sumur tersebut mampu memproduksi fluida maksimum sebesar 181.048 bpd. Jika tekanan alir dasar sumur cameo-14 sebesar 1000 psig, sumur tersebut mampu memproduksi fluida sebesar 102.094 bpd. Setelah itu dilakukan perhitungan kembali menggunakan beberapa asumsi tekanan alir dasar sumur ( $P_{wf}$ ) untuk mendapatkan nilai laju alir minyak dan membuat grafik IPR dari hasil perhitungan tersebut.

Tabel 4.2 Nilai  $P_{wf}$  dan  $Q_f$  pada sumur cameo-14

$P_{wf}$ , psi	$(P_{wf}/P_s)$	$(P_{wf}/P_s)^2$	$Q_f$ , bpd
1603	1	1	0
1493	0.931	0.867	21.681
1383	0.863	0.744	41.997
1273	0.794	0.631	60.950
1163	0.726	0.526	78.539
1053	0.657	0.432	94.763
943	0.588	0.346	109.624
833	0.520	0.270	123.120
723	0.451	0.203	135.252
613	0.382	0.146	146.021
503	0.314	0.098	155.425
393	0.245	0.060	163.465
283	0.177	0.031	170.141
173	0.108	0.012	175.453
63	0.039	0.002	179.401
0	0	0	181.048



Gambar 4.1 Grafik kurva IPR pada sumur cameo-14

Gambar 4.1 merupakan grafik kurva IPR pada sumur cameo-14 yang nilai-nilainya dapat dilihat pada tabel 4.2. Dari hasil perhitungan tersebut dapat dilihat bahwa dengan berubahnya nilai tekanan alir dasar sumur ( $P_{wf}$ ) menyebabkan terjadi perubahan laju alir fluida ( $Q_f$ ). Setelah itu peneliti melakukan diskusi dengan pembimbing di perusahaan, dimana laju alir ( $Q_f$ ) fluida di permukaan yang diinginkan oleh perusahaan yaitu sebesar 50 bpd, 75 bpd, dan 100 bpd.

#### 4.2 DESAIN SRP MENGGUNAKAN METODE API RP 11L

Setelah diketahui laju alir fluida yang diinginkan oleh perusahaan, peneliti melakukan perhitungan desain SRP menggunakan metode API RP 11L untuk laju alir fluida sebesar 50 bpd, 75 bpd, dan 100 bpd.

##### 4.3.1 Laju alir fluida 50 bpd

Langkah pertama yang dilakukan dalam mendesain SRP adalah melakukan perhitungan laju hisap pompa (PD), tekanan alir dasar sumur ( $P_{wf}$ ), tinggi kolom fluida (H), dan kedalaman pompa SRP (L). Hasil dari perhitungan tersebut dapat dilihat pada tabel 4.3.

**Tabel 4.3** Hasil perhitungan laju hisap pompa, tekanan alir dasar sumur, tinggi kolom fluida, dan kedalaman pompa SRP pada laju alir fluida 50 bpd

Parameter	Nilai
Laju hisap pompa (PD)	62.5 bpd
Tekanan alir dasar sumur ( $P_{wf}$ )	1263.030 psi
Tinggi kolom fluida (H)	1995.171 ft
Kedalaman pompa SRP (L)	2495.171 ft

Berdasarkan tabel 4.3 diketahui bahwa pompa memiliki laju hisap sebesar 62.5 bpd dengan efisiensi pompa sebesar 80%. Ketika laju hisap pompa pada 62.5 bpd, tekanan alir dasar sumur yang didapatkan sebesar 1263.030 psi dengan tinggi kolom fluida sebesar 1995.171 ft. Pompa akan diletakkan pada kedalaman 2495.171 ft.

Setelah didapatkan nilai untuk laju hisap pompa (PD), tekanan alir dasar sumur ( $P_{wf}$ ), tinggi kolom fluida (H), dan kedalaman pompa SRP (L), langkah selanjutnya adalah membuat desain SRP dari data tersebut. Ada 30 jenis perhitungan dalam membuat desain SRP menggunakan metode API RP 11L,

dimana rumus untuk perhitungannya dapat dilihat pada BAB III dan juga form perhitungan yang terdapat pada gambar 2.3. Hasil dari perhitungan desain SRP menggunakan metode API RP 11L dengan laju alir fluida 50 bpd dapat dilihat pada tabel 4.4.

**Tabel 4.4** Hasil perhitungan desain SRP menggunakan metode API RP 11L pada laju alir fluida 50 bpd

No.	Parameter	Nilai	Satuan
1	$W_r$	1.855	lb/ft
2	$E_r$	$0.795 \times 10^{-6}$	in/lb-ft
3	$F_c$	1.088	-
4	$E_t$	$0.221 \times 10^{-6}$	in/lb-ft
5	$F_o$	1703.527	lbs
6	$1/k_r$	$1.984 \times 10^{-3}$	in/lb
7	$Sk_r$	12098.842	lbs
8	$F_o/Sk_r$	0.141	-
9	$N/No$	0.087	-
10	$N/No'$	0.080	-
11	$1/k_t$	0 ( <i>tubing anchored</i> )	in/lb
12	$S_p/S$	0.86	-
13	$S_p$	20.64	in
14	PD	62.65	bpd
15	W	4628.542	lbs
16	$W_{rf}$	4142.730	lbs
17	$W_{rf}/Sk_r$	0.342	-
18	$F_1/Sk_r$	0.185	-
19	$F_2/Sk_r$	0.025	-
20	$2T/S^2k_r$	0.14	-
21	$F_3/Sk_r$	0.13	-
22	$T_a$	1	-
23	PPRL	6381.02	lbs
24	MPRL	3840.26	lbs
25	PT	20326.05	in-lbs
26	PRHP	0.81	hp
27	CBE	5294.16	lbs
28	<i>Stress (max)</i>	10617.33	psi
29	<i>Stress (min)</i>	6389.78	psi
30	<i>Stress (max yang diijinkan)</i>	26094.25	psi

Berdasarkan hasil perhitungan desain SRP menggunakan metode API RP 11L didapatkan nilai laju hisap pompa (PD) pada tabel 4.3 yang bernilai 62.5 bpd dan hasil perhitungan laju hisap pompa (PD) pada tabel 4.4 yang bernilai 62.65 bpd, dapat dikatakan bahwa nilai  $PD_{\text{desain}}$  sudah sesuai dengan  $PD_{\text{hitung}}$ . Menurut Arini, Arief, & Prabu (2015) ukuran rod yang digunakan dapat dikombinasikan dari beberapa ukuran dan nilai *stress* yang terhitung tidak melebihi nilai *stress* maksimum yang diijinkan, hal ini dapat dilihat pada tabel 4.4 bahwa nilai *stress* yang terhitung sebesar 10617.33 psi dan masih dibawah nilai *stress* maksimum yang diijinkan sebesar 26094.25 psi.

Hasil perhitungan design SRP pada sumur cameo-14 dengan laju alir 50 bpd didapatkan nilai *peak torque* sebesar 20326.05 in-lbs dan nilai *peak polished rod load* sebesar 6381.02 lbs, maka tipe SRP yang digunakan adalah C-25D-67-36. Tipe SRP tersebut berdasarkan klasifikasi yang dikeluarkan oleh API *Specification* 11E yang dapat dilihat pada gambar 2.4, dimana 25 adalah nilai torsi maksimum sebesar 25000 in-lbs, 67 adalah nilai kapasitas *polished rod* sebesar 6700 lbs, dan 36 adalah nilai panjang *stroke* maksimum yang dapat digunakan.

#### 4.3.2 Laju alir fluida 75 bpd

Langkah pertama yang dilakukan dalam mendesain SRP adalah melakukan perhitungan laju hisap pompa (PD), tekanan alir dasar sumur ( $P_{wf}$ ), tinggi kolom fluida (H), dan kedalaman pompa SRP (L).

**Tabel 4.5** Hasil perhitungan laju hisap pompa, tekanan alir dasar sumur, tinggi kolom fluida, dan kedalaman pompa SRP pada laju alir fluida 75 bpd

Parameter	Nilai
Laju hisap pompa (PD)	93.75 bpd
Tekanan alir dasar sumur ( $P_{wf}$ )	1060.077 psi
Tinggi kolom fluida (H)	2566.708 ft
Kedalaman pompa SRP (L)	3066.708 ft

Berdasarkan tabel 4.5 diketahui bahwa pompa memiliki laju hisap sebesar 93.75 bpd dengan efisiensi pompa sebesar 80%. Ketika laju hisap pompa pada 93.75 bpd, tekanan alir dasar sumur yang didapatkan sebesar 1060.077 psi dengan tinggi kolom fluida sebesar 2566.708 ft. Pompa akan diletakkan pada kedalaman 3066.708 ft.

Setelah didapatkan nilai untuk laju hisap pompa (PD), tekanan alir dasar sumur ( $P_{wf}$ ), tinggi kolom fluida (H), dan kedalaman pompa SRP (L), langkah selanjutnya adalah membuat desain SRP dari data tersebut. Ada 30 jenis perhitungan dalam membuat desain SRP menggunakan metode API RP 11L, dimana rumus untuk perhitungannya dapat dilihat pada BAB III dan juga form perhitungan yang terdapat pada gambar 2.3. Hasil dari perhitungan desain SRP menggunakan metode API RP 11L dengan laju alir fluida 75 bpd dapat dilihat pada tabel 4.6.

**Tabel 4.6** Hasil perhitungan desain SRP menggunakan metode API RP 11L pada laju alir fluida 75 bpd

No.	Parameter	Nilai	Satuan
1	$W_r$	1.855	lb/ft
2	$E_r$	$0.795 \times 10^{-6}$	in/lb-ft
3	$F_c$	1.088	-
4	$E_t$	$0.221 \times 10^{-6}$	in/lb-ft
5	$F_o$	2191.519	lbs
6	$1/k_r$	$2.438 \times 10^{-3}$	in/lb
7	$Sk_r$	9844.134	lbs
8	$F_o/Sk_r$	0.223	-
9	$N/No$	0.166	-
10	$N/No'$	0.153	-
11	$1/k_t$	0 ( <i>tubing anchored</i> )	in/lb
12	$S_p/S$	0.82	-
13	$S_p$	19.68	in
14	PD	93.47	bpd
15	W	5688.743	lbs
16	$W_{rf}$	5091.653	lbs
17	$W_{rf}/Sk_r$	0.517	-
18	$F_1/Sk_r$	0.325	-
19	$F_2/Sk_r$	0.082	-
20	$2T/S^2k_r$	0.24	-
21	$F_3/Sk_r$	0.21	-
22	$T_a$	1.06	-
23	PPRL	8290.95	lbs
24	MPRL	4284.44	lbs
25	PT	30051.77	in-lbs
26	PRHP	1.67	hp
27	CBE	6558.66	lbs
28	Stress (max)	13795.26	psi
29	Stress (min)	7128.86	psi
30	Stress (max yang diijinkan)	26509.98	psi

Berdasarkan hasil desain laju hisap pompa (PD) pada tabel 4.5 yang bernilai 93.75 bpd dan hasil perhitungan laju hisap pompa (PD) pada tabel 4.6 yang bernilai 93.47 bpd, dapat dikatakan bahwa  $PD_{\text{desain}}$  sudah sesuai dengan  $PD_{\text{hitung}}$ . Menurut Arini, Arief, & Prabu (2015) ukuran rod yang digunakan dapat dikombinasikan dari beberapa ukuran dan nilai *stress* yang terhitung tidak melebihi nilai *stress* maksimum yang diijinkan, hal ini dapat dilihat pada tabel 4.6 bahwa nilai *stress* yang terhitung sebesar 13795.26 psi dan masih dibawah nilai *stress* maksimum yang diijinkan sebesar 26509.98 psi.

Hasil perhitungan design SRP pada sumur cameo-14 dengan laju alir 75 bpd didapatkan nilai *peak torque* sebesar 30051.77 in-lbs dan nilai *peak polished rod load* sebesar 8290.95 lbs, maka tipe SRP yang digunakan adalah C-40D-89-36. Tipe SRP tersebut berdasarkan klasifikasi yang dikeluarkan oleh API *Specification* 11E yang dapat dilihat pada gambar 2.4, dimana 40 adalah nilai torsi maksimum sebesar 40000 in-lbs, 89 adalah nilai kapasitas *polished rod* sebesar 8900 lbs, dan 36 adalah nilai panjang *stroke* maksimum yang dapat digunakan.

#### 4.3.3 Laju alir fluida 100 bpd

Langkah pertama yang dilakukan dalam mendesain SRP adalah melakukan perhitungan laju hisap pompa (PD), tekanan alir dasar sumur ( $P_{wf}$ ), tinggi kolom fluida (H), dan kedalaman pompa SRP (L).

**Tabel 4.7** Hasil perhitungan laju hisap pompa, tekanan alir dasar sumur, tinggi kolom fluida, dan kedalaman pompa SRP pada laju alir fluida 100 bpd

Parameter	Nilai
Laju hisap pompa (PD)	125 bpd
Tekanan alir dasar sumur ( $P_{wf}$ )	815.871 psi
Tinggi kolom fluida (H)	3254.419 ft
Kedalaman pompa SRP (L)	3754.419 ft

Berdasarkan tabel 4.7 diketahui bahwa pompa memiliki laju hisap sebesar 125 bpd dengan efisiensi pompa sebesar 80%. Ketika laju hisap pompa pada 125 bpd, tekanan alir dasar sumur yang didapatkan sebesar 815.871 psi dengan tinggi kolom fluida sebesar 3254.419 ft. Pompa akan diletakkan pada kedalaman 3754.419 ft.

Setelah didapatkan nilai untuk laju hisap pompa (PD), tekanan alir dasar sumur ( $P_{wf}$ ), tinggi kolom fluida (H), dan kedalaman pompa SRP (L), langkah selanjutnya adalah membuat desain SRP dari data tersebut. Ada 30 jenis perhitungan dalam membuat desain SRP menggunakan metode API RP 11L, dimana rumus untuk perhitungannya dapat dilihat pada BAB III dan juga form perhitungan yang terdapat pada gambar 2.3. Hasil dari perhitungan desain SRP menggunakan metode API RP 11L dengan laju alir fluida 50 bpd dapat dilihat pada tabel 4.8.

**Tabel 4.8** Hasil perhitungan desain SRP menggunakan metode API RP 11L pada laju alir fluida 100 bpd

No.	Parameter	Nilai	Satuan
1	$W_r$	1.855	lb/ft
2	$E_r$	$0.795 \times 10^{-6}$	in/lb-ft
3	$F_c$	1.088	-
4	$E_t$	$0.221 \times 10^{-6}$	in/lb-ft
5	$F_o$	2778.704	lbs
6	$1/k_r$	$2.985 \times 10^{-3}$	in/lb
7	$Sk_r$	16081.678	lbs
8	$F_o/Sk_r$	0.173	-
9	$N/No$	0.126	-
10	$N/No'$	0.116	-
11	$1/k_t$	0 ( <i>tubing anchored</i> )	in/lb
12	$S_p/S$	0.89	-
13	$S_p$	42.72	in
14	PD	125.85	bpd
15	W	6964.447	lbs
16	$W_{rf}$	6233.459	lbs
17	$W_{rf}/Sk_r$	0.388	-
18	$F_1/Sk_r$	0.25	-
19	$F_2/Sk_r$	0.049	-
20	$2T/S^2k_r$	0.183	-
21	$F_3/Sk_r$	0.165	-
22	$T_a$	1.05	-
23	PPRL	10253.88	lbs
24	MPRL	5445.46	lbs
25	PT	74162.27	in-lbs
26	PRHP	2.66	hp
27	CBE	8080.18	lbs
28	Stress (max)	17061.36	psi
29	Stress (min)	9060.66	psi
30	Stress (max yang diijinkan)	27596.62	psi



Berdasarkan hasil desain laju hisap pompa (PD) pada tabel 4.7 yang bernilai 125 bpd dan hasil perhitungan laju hisap pompa (PD) pada tabel 4.8 yang bernilai 125.85 bpd, dapat dikatakan bahwa  $PD_{\text{desain}}$  sudah sesuai dengan  $PD_{\text{hitung}}$ . Menurut Arini, Arief, & Prabu (2015) ukuran rod yang digunakan dapat dikombinasikan dari beberapa ukuran dan nilai *stress* yang terhitung tidak melebihi nilai *stress* maksimum yang diijinkan, hal ini dapat dilihat pada tabel 4.8 bahwa nilai *stress* yang terhitung sebesar 17061.36 psi dan masih dibawah nilai *stress* maksimum yang diijinkan sebesar 27596.62 psi.

Hasil perhitungan design SRP pada sumur cameo-14 dengan laju alir 100 bpd didapatkan nilai *peak torque* sebesar 74162.27 in-lbs dan nilai *peak polished rod load* sebesar 10253.88 lbs, maka tipe SRP yang digunakan adalah C-80D-109-48. Tipe SRP tersebut berdasarkan klasifikasi yang dikeluarkan oleh API *Specification* 11E yang dapat dilihat pada gambar 2.4, dimana 80 adalah nilai torsi maksimum sebesar 80000 in-lbs, 109 adalah nilai kapasitas *polished rod* sebesar 10900 lbs, dan 48 adalah nilai panjang *stroke* maksimum yang dapat digunakan.

### **4.3 DESAIN SRP MENGGUNAKAN METODE MILLS**

Setelah diketahui laju alir fluida yang diinginkan oleh perusahaan, peneliti melakukan perhitungan untuk desain SRP menggunakan metode Mills dengan laju alir fluida sebesar 50 bpd, 75 bpd, dan 100 bpd.

#### **4.3.1 Laju alir fluida 50 bpd**

Dalam mendesain SRP menggunakan metode Mills ada beberapa data menggunakan hasil perhitungan yang telah dilakukan pada desain SRP menggunakan metode API RP 11L. Data yang digunakan dalam mendesain SRP menggunakan metode Mills dengan laju alir 50 bpd dapat dilihat pada tabel 4.9 dan hasil perhitungan desain SRP dapat dilihat pada tabel 4.10.

**Tabel 4.9** Data yang digunakan untuk desain SRP menggunakan metode Mills pada laju alir fluida 50 bpd

No.	Parameter	Nilai	Satuan
1	H	1995.171	ft
2	L	2495.171	ft
3	N	8.5	SPM
4	S	24	in
5	$A_p$	2.404	in <sup>2</sup>
6	$A_r$	0.442	in <sup>2</sup>
7	$A_t$	0.601	in <sup>2</sup>
8	$W_r$	1.855	lb/ft
9	G	0.82	-

**Tabel 4.10** Hasil perhitungan desain SRP menggunakan metode Mills pada laju alir fluida 50 bpd

No.	Parameter	Nilai	Satuan
1	$\alpha$	0.025	-
2	W	4628.542	lb
3	Wf	1738.261	lb
4	ep	0.21	in
5	et	0.97	in
6	er	2.94	in
7	Sp	20.30	in
8	PD	61.57	bpd
9	PPRL	6480.65	lb
10	MPRL	4032.68	lb
11	CBE	5256.66	lb
12	PT	16626.56	in-lb
13	PRHP	0.67	hp

Berdasarkan hasil perhitungan desain SRP menggunakan metode Mills pada laju alir 50 bpd didapatkan nilai laju hisap pompa (PD) sebesar 61.57 bpd, nilai *peak torque* sebesar 16626.56 in-lbs dan nilai *peak polished rod load* sebesar 6480.65 lbs, maka tipe SRP yang digunakan adalah C-25D-67-36. Tipe SRP yang akan digunakan berdasarkan klasifikasi yang dikeluarkan oleh API *Specification* 11E yang dapat dilihat pada gambar 2.4, dimana 25 adalah nilai torsi maksimum sebesar 25000 in-lbs, 67 adalah nilai kapasitas *polished rod* sebesar 6700 lbs, dan 36 adalah nilai panjang *stroke* maksimum yang dapat digunakan.

### 4.3.2 Laju alir fluida 75 bpd

Dalam mendesain SRP menggunakan metode Mills ada beberapa data menggunakan hasil perhitungan yang telah dilakukan pada desain SRP menggunakan metode API RP 11L. Data yang digunakan dalam mendesain SRP menggunakan metode Mills dengan laju alir 75 bpd dapat dilihat pada tabel 4.11 dan hasil perhitungan desain SRP dapat dilihat pada tabel 4.12.

**Tabel 4.11** Data yang digunakan untuk desain SRP menggunakan metode Mills pada laju alir fluida 75 bpd

No.	Parameter	Nilai	Satuan
1	H	2566.708	ft
2	L	3066.708	ft
3	N	13.3	SPM
4	S	24	in
5	$A_p$	2.404	$\text{in}^2$
6	$A_r$	0.442	$\text{in}^2$
7	$A_t$	0.601	$\text{in}^2$
8	$W_r$	1.855	lb/ft
9	G	0.82	-

**Tabel 4.12** Hasil perhitungan desain SRP menggunakan metode Mills pada laju alir fluida 75 bpd

No.	Parameter	Nilai	Satuan
1	$\alpha$	0.060	-
2	W	5688.743	lb
3	Wf	2136.422	lb
4	ep	0.78	in
5	et	1.47	in
6	er	4.43	in
7	Sp	18.88	in
8	PD	89.57	bpd
9	PPRL	8167.73	lb
10	MPRL	4753.75	lb
11	CBE	6460.74	lb
12	PT	23187.72	in-lb
13	PRHP	1.45	hp

Berdasarkan hasil perhitungan desain SRP menggunakan metode Mills pada laju alir 75 bpd didapatkan nilai laju hisap pompa (PD) sebesar 89.57 bpd, nilai *peak torque* sebesar 23187.72 in-lbs dan nilai *peak polished rod load* sebesar 8167.73 lbs, maka tipe SRP yang digunakan adalah C-40D-89-36. Tipe SRP tersebut berdasarkan klasifikasi yang dikeluarkan oleh API *Specification 11E* yang dapat dilihat pada gambar 2.4, dimana 40 adalah nilai torsi maksimum sebesar 40000 in-lbs, 89 adalah nilai kapasitas *polished rod* sebesar 8900 lbs, dan 36 adalah nilai panjang *stroke* maksimum yang dapat digunakan.

#### 4.3.3 Laju alir fluida 100 bpd

Dalam mendesain SRP menggunakan metode Mills ada beberapa data menggunakan hasil perhitungan yang telah dilakukan pada desain SRP menggunakan metode API RP 11L. Data yang digunakan dalam mendesain SRP menggunakan metode Mills dengan laju alir 100 bpd dapat dilihat pada tabel 4.13 dan hasil perhitungan desain SRP dapat dilihat pada tabel 4.14 dan hasil perhitungan desain SRP dapat dilihat pada tabel 4.10.

**Tabel 4.13** Data yang digunakan untuk desain SRP menggunakan metode Mills pada laju alir fluida 100 bpd

No.	Parameter	Nilai	Satuan
1	H	3254.419	ft
2	L	3754.419	ft
3	N	8.25	SPM
4	S	48	in
5	$A_p$	2.404	in <sup>2</sup>
6	$A_r$	0.442	in <sup>2</sup>
7	$A_t$	0.601	in <sup>2</sup>
8	$W_r$	1.855	lb/ft
9	G	0.82	-

**Tabel 4.14** Hasil perhitungan desain SRP menggunakan metode Mills pada laju alir fluida 100 bpd

No.	Parameter	Nilai	Satuan
1	$\alpha$	0.046	-
2	W	6964.447	lb
3	Wf	2615.516	lb
4	ep	0.90	in
5	et	2.20	in
6	er	6.65	in
7	Sp	40.05	in
8	PD	117.89	bpd
9	PPRL	9902.70	lb
10	MPRL	5916.43	lb
11	CBE	7909.57	lb
12	PT	54149.41	in-lb
13	PRHP	2.10	hp

Berdasarkan hasil perhitungan desain SRP menggunakan metode Mills pada laju alir 100 bpd didapatkan nilai laju hisap pompa (PD) sebesar 117.89 bpd, nilai *peak torque* sebesar 54149.41 in-lbs dan nilai *peak polished rod load* sebesar 9902.70 lbs, maka tipe SRP yang digunakan adalah C-57D-109-48. Tipe SRP tersebut berdasarkan klasifikasi yang dikeluarkan oleh API *Specification 11E* yang dapat dilihat pada gambar 2.4, dimana 80 adalah nilai torsi maksimum sebesar 57000 in-lbs, 109 adalah nilai kapasitas *polished rod* sebesar 10900 lbs, dan 48 adalah nilai panjang *stroke* maksimum yang dapat digunakan.

#### 4.4 PERBANDINGAN DESAIN SRP METODE API RP 11L DENGAN METODE MILLS

Pada tahap ini peneliti akan membandingkan hasil desain SRP menggunakan metode API RP 11L dengan metode Mills dengan laju alir fluida yang telah ditentukan oleh pembimbing lapangan sebesar 50 bpd, 75 bpd, dan 100 bpd yang dapat dilihat pada tabel 4.15 sampai dengan tabel 4.17.

**Tabel 4.15** Perbandingan desain SRP metode API RP 11L dengan metode Mills pada laju alir 50 bpd

Parameter	Metode API RP 11L	Metode Mills
S	24	24
PD	62.65	61.57
PPRL	6381.02	6480.65
PT	20326.05	16626.56
CBE	5294.16	5256.66
Tipe SRP	C-25D-67-36	C-25D-67-36

Berdasarkan tabel 4.15 hasil perhitungan desain SRP menggunakan metode API RP 11L dan metode Mills untuk laju alir 50 bpd tidak terdapat perbedaan yang signifikan untuk laju hisap pompa (PD) dan *peak polished rod load* (PPRL). Perbedaan hanya terdapat pada hasil perhitungan *peak torque* (PT). Hal ini dikarenakan pada metode Mills nilai *peak torque* bergantung kepada *mills acceleration factor*, sedangkan pada metode API RP 11L nilai *peak torque* (PT) bergantung kepada pembacaan grafik faktor non-dimensional.

Dari kedua metode tersebut tipe SRP yang digunakan memiliki tipe yang sama, yaitu C-25D-67-36. Dimana pada laju alir 50 bpd, *polished rod stroke length* (S) yang dibutuhkan hanya sebesar 24 in, sedangkan tipe SRP yang tersedia secara umum dan sesuai dengan klasifikasi yang dikeluarkan oleh API *Specification 11E* adalah 36, hal ini tidak akan terjadi masalah dikarenakan 36 merupakan nilai maksimum *polished rod stroke length* yang dapat digunakan (API, 2013). Selain itu dari hasil perhitungan laju hisap pompa (PD), metode API RP 11L memiliki hasil yang lebih baik sebesar 62.65 bpd dibandingkan dengan metode Mills sebesar 61.57 bpd.

**Tabel 4.16** Perbandingan desain SRP metode API RP 11L dengan metode Mills pada laju alir 75 bpd

Parameter	Metode API RP 11L	Metode Mills
S	24	24
PD	93.47	89.57
PPRL	8290.95	8167.73
PT	30051.77	23187.72
CBE	6558.66	6460.74
Tipe SRP	C-40D-89-36	C-40D-89-36

Berdasarkan tabel 4.16 hasil perhitungan desain SRP menggunakan metode API RP 11L dan metode Mills untuk laju alir 75 bpd tidak terdapat perbedaan yang signifikan untuk laju hisap pompa (PD) dan *peak polished rod load* (PPRL). Perbedaan hanya terdapat pada hasil perhitungan *peak torque* (PT). Hal ini dikarenakan pada metode Mills nilai *peak torque* bergantung kepada *mills acceleration factor*, sedangkan pada metode API RP 11L nilai *peak torque* (PT) bergantung kepada pembacaan grafik faktor non-dimensional.

Dari kedua metode tersebut tipe SRP yang digunakan memiliki tipe yang sama, yaitu C-40D-89-36. Dimana pada laju alir 75 bpd, *polished rod stroke length* (S) yang dibutuhkan hanya sebesar 24 in, sedangkan tipe SRP yang tersedia secara umum dan sesuai dengan klasifikasi yang dikeluarkan oleh API *Specification 11E* adalah 36, hal ini tidak akan terjadi masalah dikarenakan 36 merupakan nilai maksimum *polished rod stroke length* yang dapat digunakan (API, 2013). Selain itu dari hasil perhitungan laju hisap pompa (PD), metode API RP 11L memiliki hasil yang lebih baik sebesar 93.47 bpd dibandingkan dengan metode Mills sebesar 89.57 bpd.

**Tabel 4.17** Perbandingan desain SRP metode API RP 11L dengan metode Mills pada laju alir 100 bpd

Parameter	Metode API RP 11L	Metode Mills
S	48	48
PD	125.85	117.89
PPRL	10253.88	9902.70
PT	74162.27	54149.41
CBE	8080.18	7909.57
Tipe SRP	C-80D-109-48	C-57D-109-48

Berdasarkan tabel 4.17 hasil perhitungan desain SRP menggunakan metode API RP 11L dan metode Mills untuk laju alir 100 bpd tidak terdapat perbedaan yang signifikan untuk laju hisap pompa (PD) dan *peak polished rod load* (PPRL). Perbedaan hanya terdapat pada hasil perhitungan *peak torque* (PT). Hal ini dikarenakan pada metode Mills nilai *peak torque* bergantung kepada *mills acceleration factor*, sedangkan pada metode API RP 11L nilai *peak torque* (PT) bergantung kepada pembacaan grafik faktor non-dimensional.

Dari kedua metode tersebut tipe SRP yang digunakan memiliki tipe yang berbeda, yaitu C-80D-109-48 untuk metode API RP 11L dan C-57D-109-48 untuk metode Mills. Perbedaan tipe SRP yang digunakan ini dikarenakan terdapat perbedaan hasil desain perhitungan pada nilai *peak torque* yang mana peneliti mengacu kepada klasifikasi yang dikeluarkan oleh API *Specification 11E* (API, 2013). Selain itu dari hasil perhitungan laju hisap pompa (PD), metode API RP 11L memiliki hasil yang lebih baik sebesar 125.85 bpd dibandingkan dengan metode Mills sebesar 117.89 bpd.



## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Desain SRP menggunakan metode API RP 11L pada laju alir 50 bpd menggunakan tipe pompa C-25D-67-36 dapat memproduksi minyak sebesar 62.65 bpd, pada laju alir 75 bpd menggunakan tipe pompa C-40D-89-36 dapat memproduksi minyak sebesar 93.47 bpd, dan pada laju alir 100 bpd menggunakan tipe pompa C-80D-109-48 dapat memproduksi minyak sebesar 125.85 bpd.
2. Desain SRP menggunakan metode Mills pada laju alir 50 bpd menggunakan tipe pompa C-25D-67-36 dapat memproduksi minyak sebesar 61.57 bpd, pada laju alir 75 bpd menggunakan tipe pompa C-40D-89-36 dapat memproduksi minyak sebesar 89.57 bpd, dan pada laju alir 100 bpd menggunakan tipe pompa C-57D-109-48 dapat memproduksi minyak sebesar 117.89 bpd.

#### 5.2 SARAN

Setelah penelitian ini dilakukan, ada beberapa saran yang dapat peneliti berikan untuk peneliti selanjutnya :

1. Diperlukan ketelitian dalam pembacaan grafik yang digunakan pada desain *sucker rod pump* menggunakan metode API RP 11L.
2. Melakukan perhitungan desain *sucker rod pump* menggunakan metode lainnya dan membandingkan hasil desainnya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anisa, H. A., Yusuf, M., & Prabu, U. A. (2014). Optimasi Produksi Hasil Perencanaan Sucker Rod Pump Terpasang Pada Sumur TMT-Y di TAC-Pertamina EP Golwater TMT. *Jurnal Ilmu Teknik - Unsri*.
- API. (1998). *API RP 11L Recommended Practice For Design Calculations For Sucker Rod Pumping Systems*. Dallas: American Petroleum Institute.
- API. (2013). *Purchasing Guidelines Handbook API Specification 11E*. American Petroleum Institute, 7.
- Arini, D., Arief, A. T., & Prabu, U. A. (2015). Desain Sucker Rod Pump Untuk Optimasi Produksi Sumur Sembur Alam L5A-X di Pertamina EP Asset 2 Field Limau. *Jurnal Ilmu Teknik*.
- Bellarby, J. (2009). *Well Completion Design*. Amsterdam: Elsevier.
- Bhatkar, S., & Anwar, S. O. (2013). Optimizing crude oil production in Sucker Rod Pumping wells using QRod Simulator. *Advanced Engineering and Applied Sciences*, 1-4.
- Brown, K. E. (1980). *The Technology of Artificial Lift Methods* (Vol. 2A). Tulsa: PennWell Books.
- Ceylan, S. E. (2004). *Design and Economical Evaluation of Sucker Rod and Electrical Submersible Pumps: Oil Wells In A Field, Turkey*. Middle East Technical University .
- Fitrianti. (2013). Perencanaan Pengangkatan Buatan dengan Sistem Pemompaan Berdasarkan Data Karakteristik Reservoir. *Journal of Earth Energy Engineering*, 28.
- Fozao, K. F., Lissouck, M., Lontsi, F., Ngasa, A., & Mbanda, N. (2015). Hands-on model of sucker rod pumping facility for oil well production. *Journal of Petroleum and Gas Engineering*.
- Guo, B. (2019). *Well Productivity Handbook (Second Edition)*. Houston,: Elsevier.
- Guo, B., Liu, X., & Tan, X. (2017). *Petroleum Production Engineering* (2nd ed.). USA: Elsevier.

- H, H. H., Ibrahim, E., & Yusuf, M. (2015). Evaluasi Penggunaan Sucker Rod Pump pada Sumur RB-36 RB-91, dan RB-135 dengan Menggunakan Data Sonolog dan Dynamometer Untuk Meningkatkan Produksi di PT Pertamina EP Asset 1 Field Ramba. *Jurnal Ilmu Teknik Sriwijaya*.
- Herawati, I., Novrianti, & Suyandi, A. (2015). Evaluasi Peningkatan Produksi Pada Formasi Sandstone Sumur #H Dan #P Dengan Perencanaan Stimulasi Pengasaman Matriks. *Journal of Earth Energy Engineering*.
- Jennings, J. W. (1989). The design of sucker rod pump systems. *Society of Petroleum Engineers - SPE Centennial Symposium at New Mexico Tech, CSNM 1989*.
- Kapadiya, P. K., Bhatt, P. H., & Sodha, D. B. (2013). *Sucker Rod Pump*. Ahmadabad: Gujarat Technological University.
- Lea, J. F., & Robison, C. E. (2012). *Artificial-Lift Completions*. Halliburton Energy Services.
- Musnal, A. (2012). Analisa Kerusakan Formasi Akibat Pekerjaan Perforasi Dengan Menggunakan Metoda Yildiz pada Sumur FR 168, Sumur 154, dan Sumur 148 dilapangan X. *Jurnal of Eart, Energy, Engineering*, 14.
- Musnal, A. (2014). Perhitungan Laju Aliran Fluida Kritis Untuk Mempertahankan Tekanan Reservoir Pada Sumur Ratu Di Lapangan Kinantan. *Journal of Earth Energy Engineering*.
- Musnal, A. (2015). Optimasi Perhitungan Laju Alir minyak Dengan Meningkatkan Kinerja Pompa Hydraulic Pada Sumur Minyak Di Lapangan PT. KSO Pertamina Sarolangon Jambi. *Journal of Earth Energy Engineering*, 4(2), 71.
- Nguyen, T. (2020). *Artificial Lift Methods - Design, Practices, and Applications*. USA: Springer International Publishing.
- Nov. (2012). *Rod Pumps and Components*. Houston: National Oilwell Varco.
- Pandya, R. M. (2019). *Production Optimization of SRP Wells Using Prosper*. India: Pandit Deendayal Petroleum University Gandhinagar.
- Reddy, K. S. (2018). Importance of Sucker Rod Pump [SRP] in Artificial Lift. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET)*.

Romero, O. J., & Almeida, P. (2014). Numerical simulation of the sucker-rod pumping system. *INGENIERÍA E INVESTIGACIÓN*, 34(3), 4-11.

Stewart, M. (2019). *Surface Production Operations*. USA: Gulf Professional Publishing.

Suyono, A., Suherman, A., & Herlina, W. (2018). Kajian Teknis Pompa SRP Untuk Optimalisasi Produksi Sumur AS-100 di Job Pertamina-Jadestone Energy (Ogan Komering) Ltd, Air Serdang Field. *Jurnal Pertambangan*, 2(3), 11-18.

Takács, G. (1993). *Modern Sucker-Rod Pumping*. USA: Pennwell Corp.

Takacs, G. (2003). *Sucker-Rod Pumping Manual*. Oklahoma: PennWell.

Takacs, G. (2015). *Sucker-Rod Pumping Handbook*. USA: Gulf Professional Publishing.

