

BAB III

TEORI DASAR

3.1. Artificial Lift

3.1.1. Pompa ESP

Electric submersible pump atau pompa listrik bawah permukaan adalah sebuah rangkaian pompa sentrifugal bertingkat yang digerakkan oleh arus listrik yang dialirkan dari permukaan. *Electric* submersible pump ini harganya cukup tinggi dibandingkan dengan artificial lift lainnya, tetapi dapat menghasilkan pengembalian biaya yang cepat karena kemampuannya untuk menghasilkan laju produksi yang tinggi. Pompa jenis ini dapat dioperasikan pada fluida dengan *water cut* yang tinggi, dan sumur yang dalam karena *multy stage*. Tipe pompa ini lebih ideal digunakan untuk sumur dengan volume produksi yang tinggi pada tekanan dasar sumur yang relatif rendah.

3.1.2. Prinsip Kerja ESP

Prinsip dasar *electric submersible pump* adalah mengubah kerja poros menjadi energi mekanik fluida, sehingga menimbulkan tekanan rendah pada sisi hisap (*intake*) dan tekanan yang tinggi pada sisi keluar (*discharge*). Untuk melakukan hal tersebut maka pompa harus memerlukan gerak mula agar energi mekanik yang diterima diteruskan ke fluida.

Dari sini baru pompa mengalirkan fluida dari satu tingkat ke tingkat berikutnya, disebabkan oleh gaya putar dari *impeller*, dimana setiap tingkatnya akan mengangkat fluida terdiri dari bagian yang berputar (*impeller*) dan bagian yang diam sebagai tempat fluidanya (*diffuser*). *Impeller* melakukan penghisapan fluida dari bawah untuk diteruskan ke *diffuser*, dan fluida yang ada di *diffuser* akan diteruskan lagi ke tingkat paling atasnya oleh *impeller*.

Panjang dari suatu pompa tergantung jumlah *stages* yang digunakan, fluida produksi akan lewat pada *impeller-impeller* yang di susun berurutan dan setiap *stage* akan mengembangkan tekanan atau *Head*. *Head* total adalah jumlah masing-masing head yang terbentuk pada setiap *impeller*. Setiap satu *stage* terdiri dari *diffuser* dan *impeller*, dimana *impeller* diputar oleh motor yang putaran dari motor diteruskan oleh *shaft*.

3.1.3. Komponen Peralatan ESP

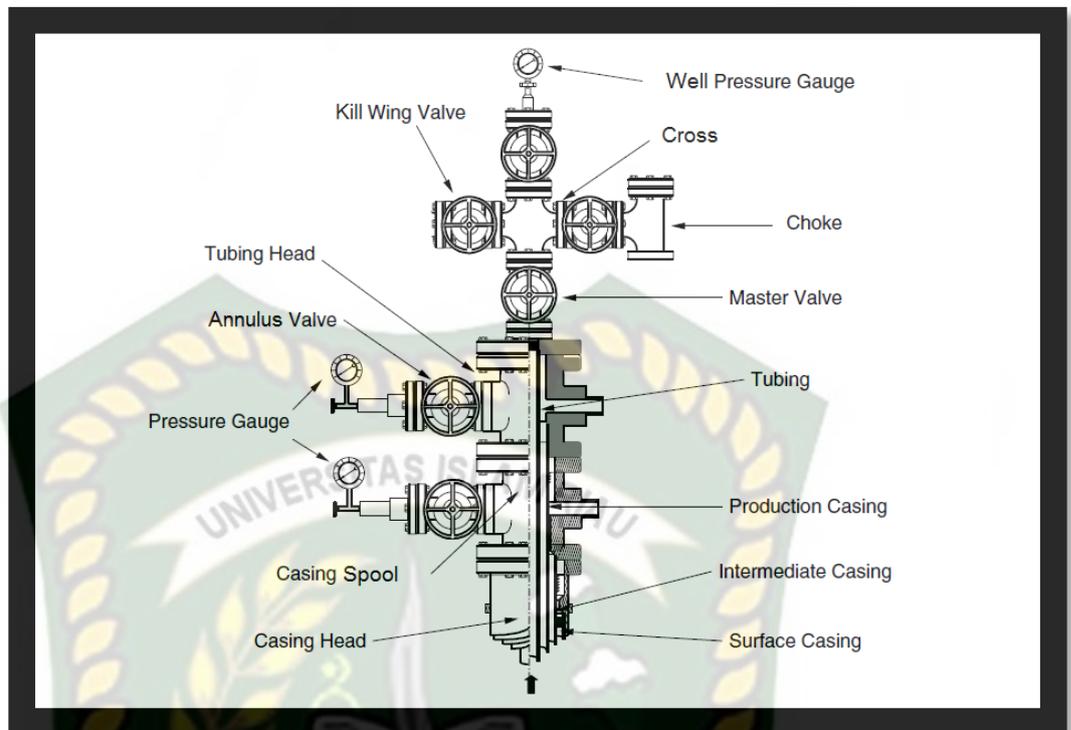
Komponen peralatan pada ESP dapat dibagi atas dua bagian yaitu komponen di atas permukaan dan komponen di bawah permukaan.

3.1.3.1. Komponen Diatas Permukaan

Electrical Submersible Pump unit yang berada diatas permukaan diartikan suatu kesatuan peralatan yang penempatannya berada di atas permukaan tanah, yaitu *Well Head*, *Junction Box*, *Switchboard*, *Transpormator* dan *Electric Cable* sebagai media penghubungannya.

a. *Well Head (Tubbing Support)*

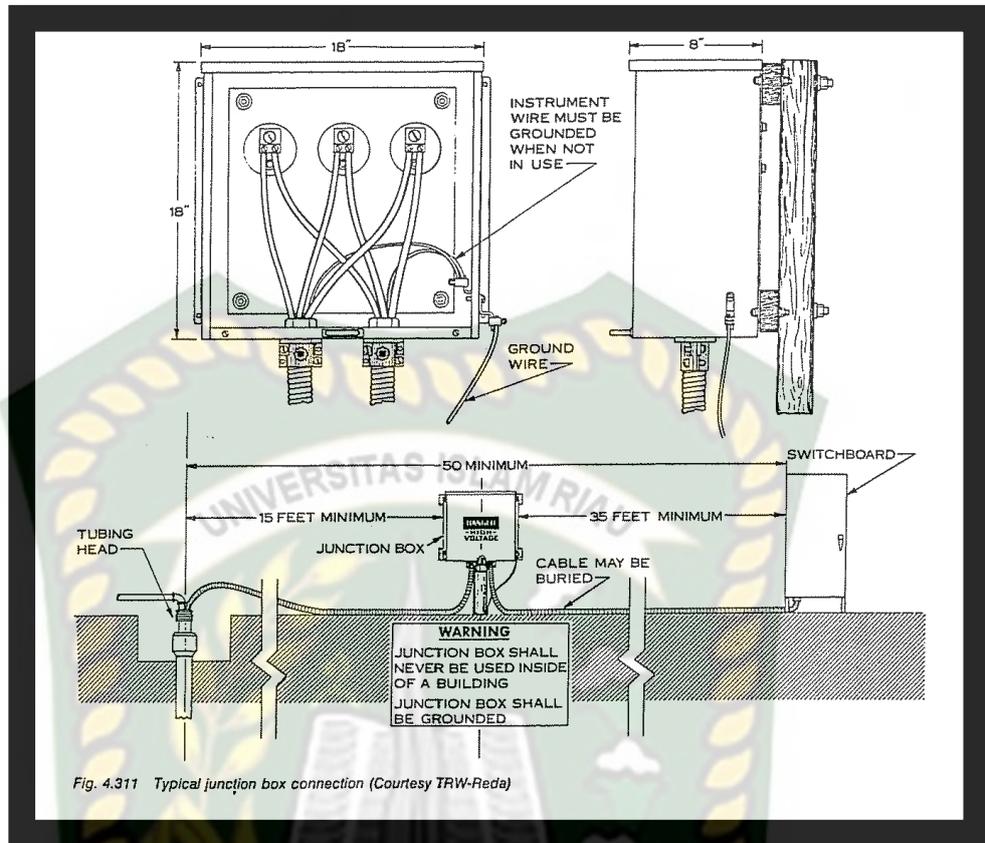
Well Head atau *tubing support* adalah alat yang digunakan untuk menggantungkan *tubing string* dan *ESP* dibagian dalam sumur pada *casing* dipermukaan. *Well Head* dilengkapi dengan “*Seal*” agar tidak bocor pada lubang untuk kabel dan *tubing*, menjaga agar fluida tidak dapat keluar dari *casing*. *Well Head* didesain untuk dapat menahan tekanan sampai dengan 3000 psi. *Well Head* atau *tubing support* ditunjukkan oleh gambar sebgaia berikut:



Gambar 3.1. *Well Head* (Baker Huges Handbook)

b. *Junction Box* (kotak penghubung)

Untuk alasan keamanan *junction box* antara *well Head* dan *switchboard*. *Junction Box* berfungsi sebagai tempat pelepasan gas agar tidak merambat naik melalui kabel kedalam *switchboard*. Jika gas dibiarkan naik ke permukaan dan berkumpul di *switchboard* dapat menimbulkan kondisi yang membahayakan dimana *switchboard* dapat meledak. Jarak minimum yang diijinkan yaitu 15 feet dari kepala sumur dan 35 feet dari *switchboard*, dan dipasang kira-kira 2 s/d 3 ft diatas permukaan tanah. Adapun bentuk penampakan dari *Junction Box* adalah sebagai berikut:



Gambar 3.2. *Junction Box* (Kermit Brown Vol 2b)

c. *Switchboard* (Panel Listrik Pompa ESP)

Switchboard merupakan panel kontak yang dilindungi dalam kotak baja yang tahan cuaca, yang berfungsi mengatur dan melindungi pompa *ESP* pada waktu operasi. Alat ini merupakan kombinasi dari *motor starter*, alat pencatat tegangan, dan alat penstabil tegangan arus listrik selama pompa beroperasi.

Switchboard sebaiknya diletakkan sekitar 50 hingga 100 kaki dari sumur dan mempunyai kapasitas tegangan 440-4800 *volt*. Pemilihan panel kontak ini berdasarkan besarnya *HP* (*horse power*) *motor*, *voltage* dan arus listrik. Didalam kotak ini isinya tergantung dari keperluan, umumnya ada sekering (*fuse*), alat otomatis untuk mematikan pompa *ESP* (*Over Under-Load Protection*), tombol saklar (*switch*), *Start-stop* Otomatis dengan menggunakan tiner, peralatan anti petir dan pencatat *ampere* (*recorder ammeter*). Adapun bentuk dari *Switchboard* itu adalah sebagai berikut:



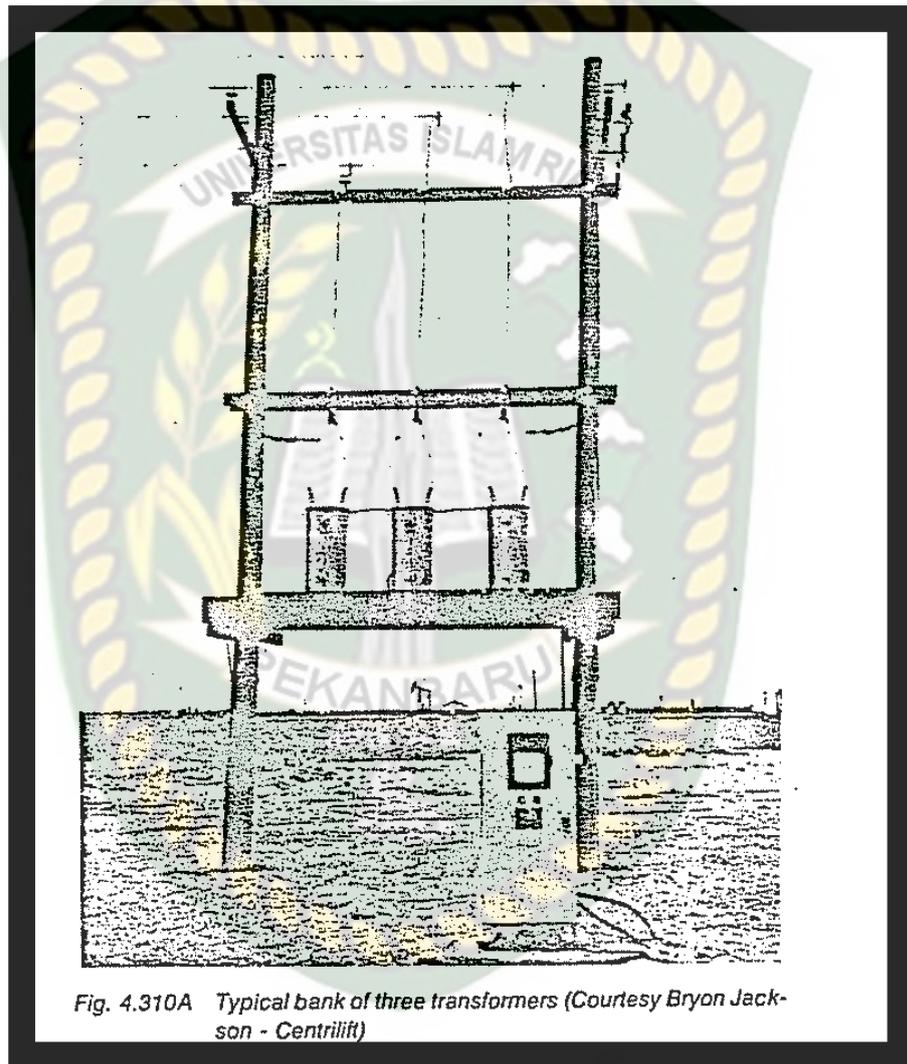
Figure 11-1
Baker Hughes Electrostart ESP Switchboard

Gambar 3.3. *Switchboard* (Kermit Brown Vol 2b)

d. *Transformator (travor ammeter)*

Transformer merupakan suatu alat listrik untuk mengubah *voltage* dari satu harga ke harga lainnya. Fungsi dari *transformator* adalah mengatur tegangan dari pembangkit tenaga listrik menjadi suatu tegangan yang diperlukan oleh motor agar dapat menggerakkan sistem pompa. Motor memiliki tegangan operasi yang berbeda, oleh sebab itu tegangan dari sumber tegangan (*primary line*) sebelum masuk ke motor harus disesuaikan dahulu dengan tegangan operasi motor. *Transformator* dipilih berdasarkan besarnya *KVA* yang diperlukan oleh motor.

Transformer dilengkapi dengan kaitan pengangkat untuk memuatkan, menurunkan, dan mengani. Sebuah *spreader bar* dan kabel akan digunakan untuk menjaga *transformer* dalam suatu posisi vertikal untuk menghindari kerusakan. Selalu pastikan penutup dipasang ditempatnya sebelum dipindahkan. *Transformer* sebaiknya diletakkan sekitar 50 hingga 100 ft dari sumur. *Transformer* akan ditunjukkan oleh gambar berikut:



Gambar 3.4. *Transformator* (Kermit Brown Vol 2b)

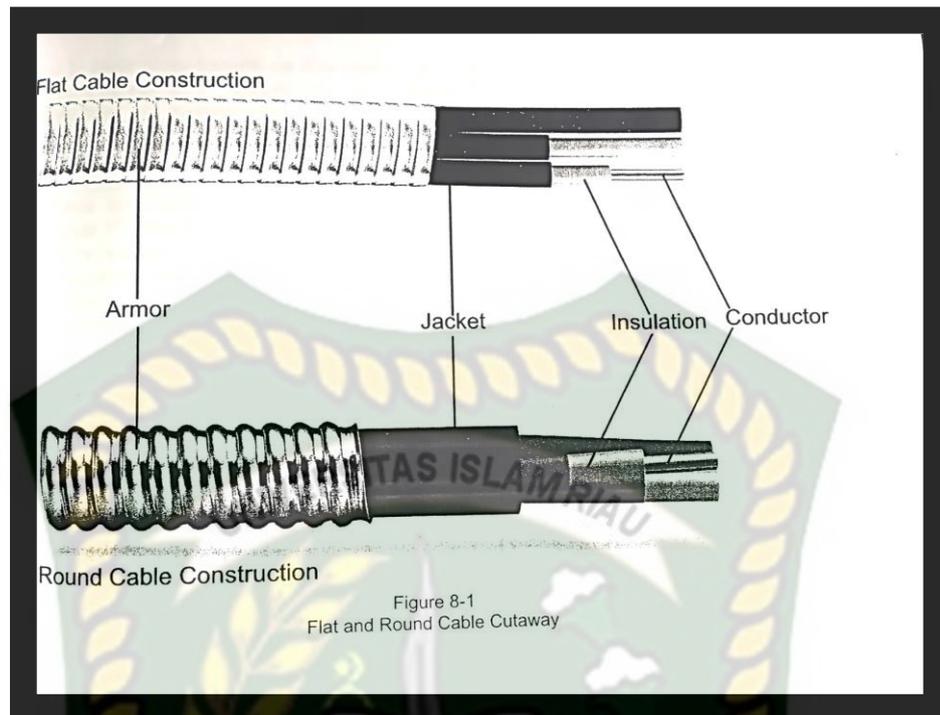
3.1.3.2. Komponen Dibawah Permukaan

Komponen dibawah permukaan untuk sumur-sumur dengan *ESP* pada dasarnya terdiri dari, *Electric cabel*, *Bleeder Valve*, *Check Valve*, *Pump*, *Intake Gas separator*, *Protector*, *Motor*, *Centralizer*, *Cable Bond*, *Y Block*, dan *R Nipple*.

a. *Electric Cable*

Electric Cable berfungsi untuk menghantarkan arus listrik dari *Switchboard* kemotor *ESP*. Kabel ini dibuat dari bahan tembaga maupun *aluminium*. Ada dua jenis kabel yang dipakai yaitu, kabel pipih dan kabel bulat. Yang masing-masing terdiri dari tiga buah kawat konduktor yang satu sama lain dipisahkan dengan isolator berlapis-lapis dan keseluruhannya dibungkus (*amour*) yang terbuat dari *Galvanize* atau *monel*. Pemilihan kabel yang dipakai tergantung besarnya arus listrik yang mengalir, temperatur fluida, jumlah dan tekanan gas didalam *amnulus*, ruang antar motor, pompa, *casing* juga adanya sifat korosi pada fluida. Pemakaian kabel ditempelkan dan diikat pada rangkaian *tubing* dengan menggunakan *Banding Clamp*, kabel standar mempunyai masa pakai 10 tahun, untuk maksimum temperatur 167°F.

Kabel pipih (*flat cable*) dipakai pada daerah motor pompa sampai sedikit diatas pompa dengan tujuan untuk mengurangi total diameter rangkaian *ESP*. Pemasangan kabel pipih diikat dengan pelindung (*flat clamp guard*). Kabel bulat (*round cable*) dipakai pada daerah diatas rangkaian *ESP* sampai *switchboard*. Adapun bentuk dari kabel *ESP* adalah sebagai berikut:



Gambar 3.5. Kabel ESP (Baker Hughes Handbook)

b. *Bleeder Valve*

Bleeder Valve dipasang pada *tubing hanger* dan mempunyai fungsi mencegah minyak keluar permukaan pada saat rangkaian *tubing* dicabut.

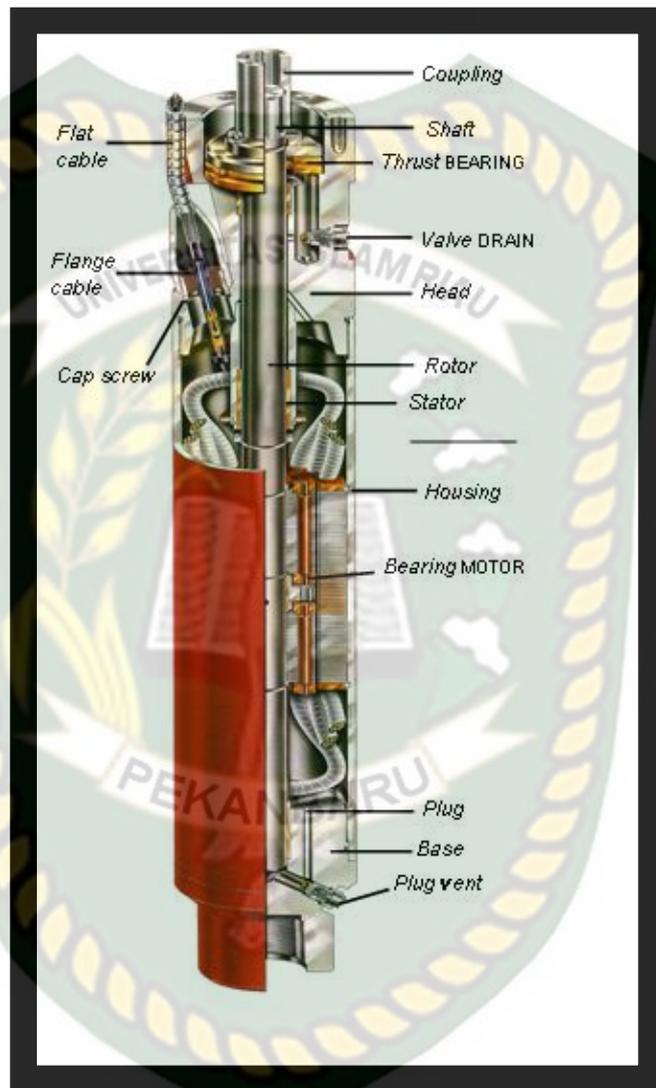
c. *Check Valve*

Check Valve dipasang diatas pompa, dan berfungsi mencegah fluida turun kembali ke pompa yang mengakibatkan putaran balik pada saat pompa berhenti. Juga diperlukan untuk pengetes kebocoran rangkaian *tubing* pada saat perawatan sumur.

d. Pump

ESP merupakan dari jenis pompa sentrifugal yang banyak digunakan pada sistem eksplorasi sumur minyak. Pompa adalah bagian yang terletak diatas *intake gas separator* dan berfungsi untuk memindahkan fluida sampai kepermukaan. Pompa terdiri dari tingkat-tingkat, setiap tingkat terdiri dari *impeller* dan *diffuser*. Pompa digerakkan oleh gaya sentrifugal. Jumlah yang digunakan berdasarkan pada kebutuhan pengangkatan fluida dan tekanan permukaan yang dikehendaki.

Laju alir pompa tiap tingkatnya sangat bergantung pada diameter *impeller* pompa dan bentuk geometri pompa. *Head* pompa tergantung dari bentuk geometri susunan *impeller* dan *Difusser* yang juga dipengaruhi diameter pompa. Berikut adalah penampakan dari pompa ESP:



Gambar 3.6. Pompa ESP (Handbook Baker Huges Vol 2)

Secara umum pompa atau sering disebut dengan Reda Pump terdiri dari beberapa bagian:

- *Impeller*

Impeller merupakan komponen dari pompa yang berputar bersama-sama dengan poros yang dikunci dengan spline memanjang sepanjang poros, yang berfungsi untuk memberikan gaya sentrifugal sehingga fluida bergerak menjauhi poros yang berputar sehingga fluida naik dari sumur minyak ke permukaan.

- *Difusser*

Difusser merupakan komponen dari pompa yang dijepit pada *housing* dan dijaga agar tidak bergerak, didalam *Difusser* terdapat sudu-sudu pengarah aliran fluida dari *stages* yang lebih rendah ke *stage* yang lebih tinggi. Adapun fungsi *diffuser* adalah membalikkan arah fluida dan mengarahkan kembali ke poros dan ke bagian tengah dari *impeller* di atasnya.

- *Housing*

Housing adalah rumah pompa ESP yang mempunyai bentuk memanjang karena *stage* pompanya lebih dari satu.

- *Shaft* (Poros)

Poros merupakan komponen yang memberikan daya pada pompa dengan cara mengubahnya menjadi energi fluida. Poros ini digerakkan oleh motor listrik yang terletak di bagian bawah pompa dan *protector*. Pada poros terdapat spline yang memanjang sebagai tempat duduk pompa sentrifugal.

Selain hal tersebut diatas, *Impeller* juga digunakan untuk mengubah energi putaran (*Shaft torque*) ke energi kinetik (*velocity*), sedangkan *diffuser* kegunaannya adalah untuk mengubah energi kinetik menjadi energi potensial (tekanan). *Difusser* dan *impeller* umumnya dibuat dari material jenis Ni-Resist yang merupakan special logam *alloy* tahan karat. Untuk kasus-kasus tertentu biasa di buat dari jenis logam lain sesuai dengan kebutuhan aplikasinya.

Dalam pemasangan dilapangan bisa menggunakan lebih dari satu pompa, bisa dua atau tiga, pemasangan ini disebut tandem. Alasan pemasangan tandem adalah untuk memenuhi jumlah *stages* pompa dan untuk mendapatkan kapasitas *Head* yang dibutuhkan untuk menaikkan fluida sumur permukaan. Besarnya

opening vane pada *impeller* sangat menentukan kapasitas rate fluida yang diproduksinya.

e. *Intake / Gas separator* (pasokan / pemisah gas)

Intake / gas separator disambung pada bagian bawah pompa dengan cara menyambung kedua *shaft* pompa dan *intake* dengan menggunakan *coupling*. *Intake* berfungsi sebagai tempat masuknya fluida kedalam pompa. *Gas separator* ini digunakan pada sumur-sumur yang banyak mengandung gas. Gas yang terproduksi bersama dengan fluida akan berpengaruh buruk terhadap pompa, dapat berakibat matinya pompa. Beberapa sumur memproduksi gas yang cukup besar yang dapat menyebabkan pompa berputar sendiri, yang menyebabkan mengurangi efisiensi pompa. Volume gas bebas dapat dikurangi dengan penurunan PSD (*Pump setting depth*) untuk menambah tekanan di *intake* atau dengan memasang *Gas separator*. *Gas separator* ini masih dapat bekerja dengan baik pada sumur-sumur yang memiliki Gas Oil Ratio (GOR) lebih dari 100 cuft/bbl.

Kegunaannya dari *Gas separator* antara lain adalah:

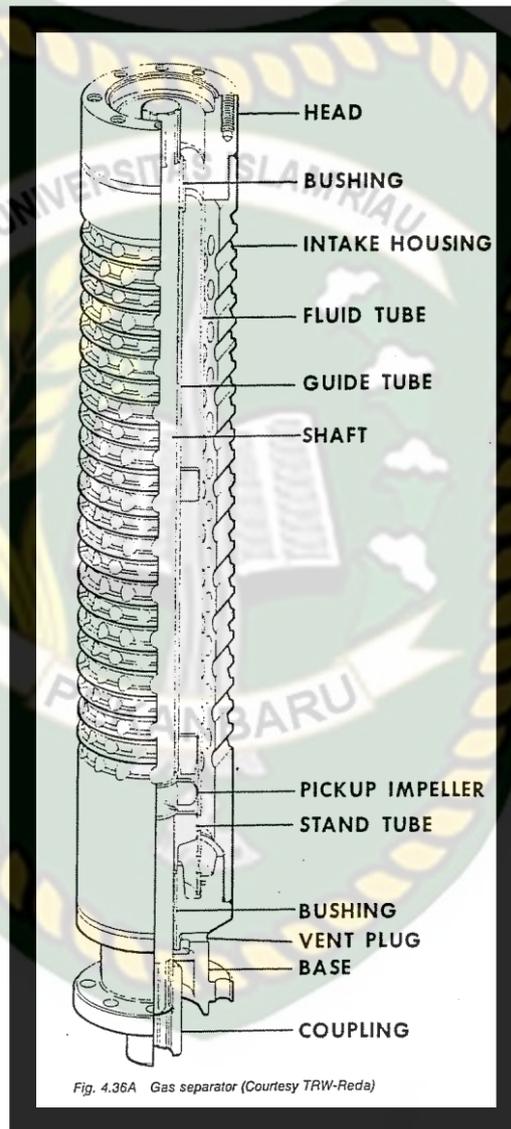
- a. Mencegah menurunnya *Head capacity* yang bisa dihasilkan oleh pompa
- b. Mencegah terjadinya *gas lock* dan kavasiti pompa terutama pada laju aliran (*flow rate*) yang tinggi dan fluida yang mengandung gas, dengan demikian dapat memperbaiki efisiensi pompa
- c. Mencegah terjadinya fluktuasi beban pada motor penggerak
- d. Mengurangi adanya tekanan-sentakan (*surgings*)

Beberapa jenis *intake* yang biasa dipakai antara lain:

- ❖ Standar *Intake* digunakan untuk sumur produksi dengan *Gas Liquid Ratio* (GLR) rendah.
- ❖ *Static Gas separator (Reserve Gas separator)*, berfungsi untuk memisahkan gas hingga 20% dari fluidanya.

Rotary Gas separator, dapat memisahkan gas sampai 90% dan biasanya dipasang untuk sumur dengan GLR besar. Jenis ini tidak direkomendasikan untuk

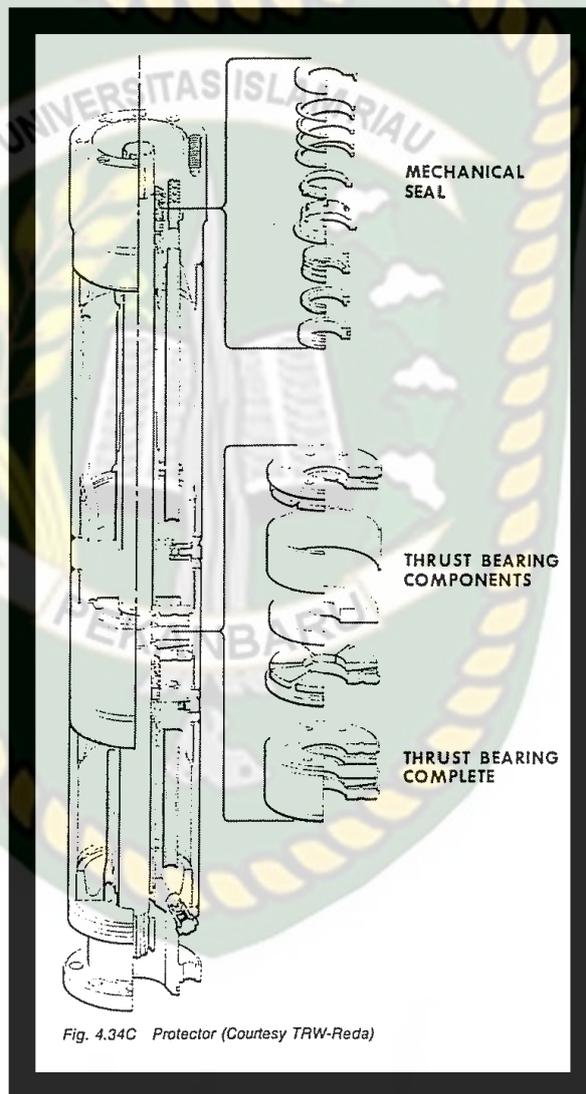
sumur yang abrasif. Prinsip kerja rotary *gas separator* adalah menurunkan tekanan fluida yang masuk kedalam bagian *intake*, sehingga terjadi pemisahan gas dari cairan. Gas yang terpisah akan dilempar keluar menuju bagian atas ruang annulus dan keluar lagi dengan cair yang diproduksi lewat tubing. Adapun penampakan *intake* yang asli adalah sebagai berikut:



Gambar 3.7. *Intake/Gas separator* (Baker Hughes Handbook)

f. *Protector / Seal Section (Pelindung)*

Protector atau *Seal Section* merupakan bagian dari pompa benam listrik yang terletak pada bagian atas motor. *Protector* merupakan penyekat antara fluida sumur dan *electric oil* di dalam motor, supaya tidak masuk ke dalam motor bila fluida sumur masuk ke dalam motor akan menyebabkan kegagalan dini. Adapun bentuk dari *protector* tersebut adalah sebagai berikut:



Gambar 3.8. *Protector* (Baker Hughes Handbook)

Selain itu fungsi lain *protector* adalah:

- a. Sebagai penghubung rumah pompa dengan motor
- b. Menyeimbangkan tekanan di dalam pompa terhadap tekanan lubang bor
- c. Mencegah masuknya fluida sumur ke dalam motor

Beberapa tipe *protector* (pelindung) yaitu:

- *Protector Tipe Labyrinth*

Protector ini mempunyai dua ruang (atas dan bawah) yang dihubungkan dengan beberapa pipa. Cara kerja dari jenis *protector* ini didasarkan pada perbedaan bert jenis fluida sumur dengan fluida motor. Setelah *protector* di pasang diantara motor dan *intake*, *protector* harus terisi minyak motor sebelum dimasukkan ke dalam sumur. Ketika unit pompa dimasukkan sumur, maka temperatur fluida motor dan *protector* akan keluar menuju annulus melalui lubang di dasar bagian *intake* dan setelah motor dijalankan, maka temperatur motor dan *protector* akan meningkat sehingga mengakibatkan fluida motor berekspresi dan semakin banyak fluida yang keluar dari *protector* ke sumur.

- *Positive Seal Protector*

Bila *Labyrinth path Type Protector* memungkinkan terjadinya komunikasi antara fluida sumur dengan fluida motor, maka hal ini tidak terjadi pada bag *Type Protector. Positive Seal (bag Type Protector)* dilengkapi dengan Elastomer rubber Bag yang terbuat dari jenis komposisi material karet yang taha terhadap temperatur, tekanan bahkan hidrokarbon. Pada waktu di start temperatur dari motor akan naik sampai mencapai operating temperature dari motor ini menyebabkan minyak motor akan mengembang.

Elastomer bag menampung minyak motor pada saat pengembangannya. Untuk pembuangan minyak motor yang berlebihan $\pm 2\% - 4\%$ dipasang sebuah *relief valve* yang akan terbuka secara otomatis pada tekanan 3 sampai 5 Psi. Pada waktu motor stop, maka bag akan ditarik kedalam oleh kampisnya (collapse) minyak motor, sehingga ada bagian yang vakum akan menarik fluida di sumur kebagian luar dari *bag* nya. Kegagalan *protector* jenis ini

apabila terjadi kerusakan pada *seal* nya atau elastomer bag nya tersobek karena suatu sebab tertentu sehingga fluida akan masuk ke bag.

- *Tandem Protector*

Dalam beberapa hal kemungkinan untuk memasang *protector* lebih dari satu didalam sumur yang dimaksudkan untuk mencoba menambah panjang umur dari unit (motor). Dibawah ini pedoman untuk tandem *protector*:

- Labyrinth (top)/labyrinth:

Gabungan ini untuk keadaan tanpa: adanya gas yang tidak terlalu banyak, specific gravity yang rendah atau fluida-fluida yang mudah tercampur dengan minyak *protector*.

- Labyrinth (top)/Positive Seal:

Kombinasi ini cocok untuk beberapa kondisi dan sangat baik dimana adanya chemical yang akan merusak bag dari Positive Seal.

- Positive Seal (top)/Positive Seal:

Ini merupakan kombinasi terbaik dimana adanya specific Gravity yang rendah, gas yang berlebihan atau fluida-fluida yang mudah tercampur dengan minyak *protector*.

- Positive Seal (top) Labyrinth:

Cara ini hanya digunakan untuk dimana thrust bearing dibebani sangat berat.

g. *Electric Motor* (Motor Listrik)

Motor merupakan penggerak utama dari sistem pompa benam listrik. Motor ini dipasang pada bagian bawah dari unit pompa dan pada porosnya dihubungkan ke poros *protector* yang terpasang pada bagian atasnya. Motor listrik ini menggunakan aliran listrik dari permukaan yang merupakan motor listrik induksi tiga fasa, rotor sangkar dan dua kutub yang mempunyai kecepatan 3500 rpm pada 60 HZ dan 2915 rpm pada 50 HZ. Motor listrik ini terdiri dari tiga bagian, yang bergerak disebut rotor dan bagian yang diam (tetap) disebut stator dan insulator. Rumah motor diisi sejenis minyak oli yang *dielectric* yang juga

dapat berfungsi sebagai pelumas, pendingin dan anti karat pada dinding luarnya, maka pada instalasinya motor harus dipasang di atas perforasi.

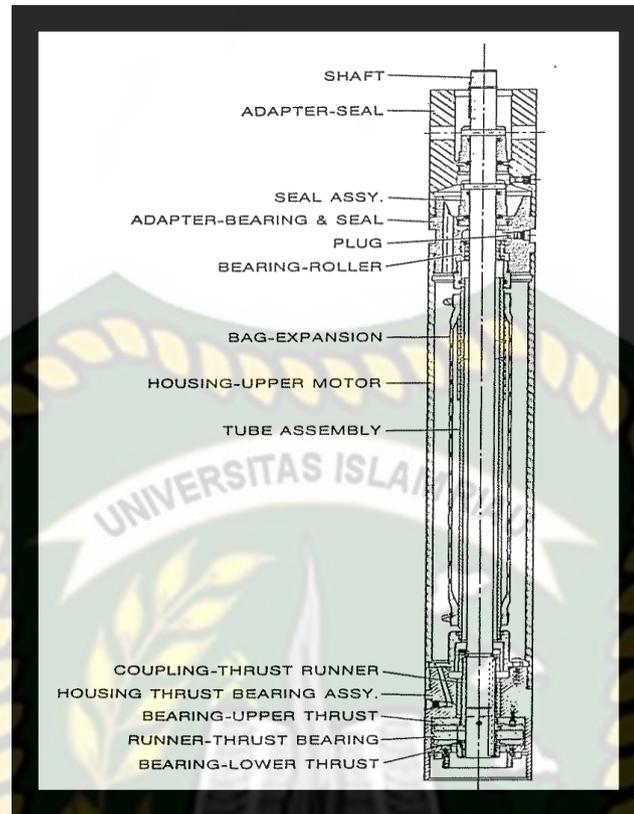
Motor ini terdiri dari tiga bagian, yaitu:

- Stator

Stator terbuat dari besi dan kuningan yang diproses dibagian rumahnya (*housing*). Lapisan ini lebih mudah dimagnetisasi dibandingkan dengan besi pejal dan mengandung 3% - 4% silikon untuk menambah kemagnetan dari besi serta terdapat lapisan oksida yang berfungsi sebagai pemisah lapisan kuningan. Pada stator terdapat 18 slot dan setiap slot di isolasi dengan teflon yang mempunyai sifat kelistrikan yang tinggi.

- Rotor

Rotor yang digunakan sangat panjang sehingga membutuhkan penahan untuk mencegah gerakan lateral dan kontak antara rotor dan stator. Penahan ini dilengkapi dengan bantalan sehingga memungkinkan rotor dan stator bergerak bebas. Pada bagian atas dari rotor terdapat sebuah rotating thrush runner yang dikunci pada poros, dimana thrush ini diletakkan pada bantalan luncur yang permukaannya dilapisi dengan babbitt timbal. Seluruh berat rotor ditahan oleh thrush runner pada bantalan itu. Bantalan yang dipasang terlebih dahulu dilapisi kuningan supaya tahan terhadap temperatur yang tinggi pada saat motor dipasang sehingga kuningan dan bantalan rotor mengembang menjepit bagian luar jumlah rotor. Dibawah ini adalah salah satu contoh gambar penampakan bentuk dari motor ESP.



Gambar 3.9. Motor ESP (Baker Hughes handbook)

3.2. Sifat Fisik Fluida

3.2.1. Specific Gravity Fluida

Specific gravity fluida adalah perbandingan antara densitas fluida tersebut terhadap densitas fluida pada keadaan standar (14.7 psi, 60°F).

Di Indonesia biasanya berat jenis dinyatakan dalam fraksi, misalnya 0.5 : 0,1 untuk minyak bumi suhu yang digunakan adalah 15°C atau 60°F. Dalam dunia perdagangan terutama yang dikuasai oleh perusahaan Amerika, gravitasi jenis atau lebih sering disingkat dengan SG ini dinyatakan dalam °API gravity dan juga °API (*American Petroleum Institute*) yang sangat mirip dengan °Baume gravity

adalah suatu besaran yang merupakan fungsi dari berat jenis yang dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$SG = \frac{141.5}{131.5 + API} \quad (3.1)$$

Atau dengan densitas air 62.4 lb/ft^3 , maka:

$$\gamma_o = \frac{\rho_o}{62.4} \quad (3.2)$$

3.2.2. Kelarutan Gas Dalam Minyak (R_s)

Kelarutan gas dalam minyak didefinisikan sebagai jumlah gas yang terlarut (SCF) di dalam minyak (STB) pada kondisi dan tekanan temperatur tertentu. Ciri utama kelakuan R_{so} terhadap tekanan pada saat tekanan gelembung adalah bahwa harga R_{so} mencapai maksimum karena jumlah gas yang terlarut pada saat tersebut belum ada gas yang keluar dari minyak atau pada saat jumlah gas terbanyak berada dalam minyak. Dengan persamaan Standing R_{so} dapat dituliskan sebagai berikut:

$$R_s = \gamma_g \left[\left(\frac{P}{18.2} + 1.4 \right) 10^x \right]^{1.2408} \quad (3.3)$$

Dengan:

$$x = 0.0125 API - 0.00091 (T - 60) \quad (3.4)$$

Dimana:

T = Temperatur, °F

P = Tekanan pada sistem, psi

γ_g = Specific Gravity Gas

3.2.3. Faktor Volume Formasi

Pada perencanaan ESP, faktor volume formasi yang sangat berpengaruh adalah B_o dan B_g . B_o adalah perbandingan antara volume minyak yang ada di reservoir dengan volume minyak yang ada dipermukaan (kondisi *stock tank*). Sedangkan B_g adalah faktor volume formasi untuk gas. Untuk perhitungannya dapat dilakukan dengan persamaan Standing:

$$\beta_o = 0.9759 + 0.000120 \left[R_s \left(\frac{\gamma_g}{\gamma_o} \right)^{0.5} + 1.25 (T - 460) \right]^{1.2} \quad (3.5)$$

Dimana:

T = Temperatur, °F

γ_g = Specific Gravity Gas

γ_o = Specific Gravity Minyak

Untuk faktor volume formasi gas β_g ditunjukkan dengan persamaan:

$$\beta_g = 5.04 \left(\frac{z(460+T)}{P} \right) \quad (3.6)$$

3.3. Produktivitas Formasi

Dalam mendesign suatu pompa, menghitung kemampuan reservoir untuk mengalirkan fluida kedalam lubang sumur sangatlah penting. Hal ini sangat erat kaitannya dengan *Productivity Index* (PI). *Productivity index* adalah suatu index yang menyatakan perbandingan antara perubahan laju produksi dengan perubahan tekanan.

Setelah menentukan PI maka kita menentukan *Index Performance Relationship* (IPR). IPR adalah grafik yang menyatakan perilaku aliran fluida dari reservoir menuju permukaan. Grafik ini merupakan hubungan antara laju alir fluida dengan tekanan bawah sumur. Ditunjukkan dengan rumus:

$$PI = \frac{Q_o}{Pr - Pwf} \quad (3.7)$$

Dimana:

Q_o = Laju Alir Fluida, BOPD

P_r = Tekanan Reservoir, psi

P_{wf} = Tekanan Bawah Sumur, psi

Dalam membuat kurva IPR, ditentukan berdasarkan fluida yang ada di reservoir tersebut. Maka untuk itu, kita disini akan menggunakan IPR 2 fasa dengan metode Vogel. Dengan rumus:

$$\frac{q_o}{Q_{o \max}} = 1 - 0,2 \left[\frac{P_{wf}}{P_r} \right] - 0,8 \left[\frac{P_{wf}}{P_r} \right]^2 \quad (3.8)$$

Tujuan kita mengetahui potensi sumur minyak adalah untuk menentukan laju alir dalam melakukan perencanaan pompa ESP dan dapat menentukan ketinggian fluida dari tekanan alir sumur pada saat alju alir tersebut.

3.4. Aliran Fluida Dalam Pipa

Dalam penghitungan aliran fluida, ada beberapa hal yang sangat penting diperhatikan yang dapat menyebabkan kehilangan. Adapun kehilangan tersebut disebabkan oleh beberapa faktor yaitu akibat gesekan, akibat perubahan ketinggian dan perubahan energi kinetik. Ketika fluida mengalir didalam pipa, maka fluida tersebut mengalami *Shear Stress* pada dinding pipa sehingga mengalami kehilangan tenaga atau *friction loss*. Dalam menghitung *friction loss* maka William Hazen membuat persamaan sebagai berikut:

$$hf = 0.20830 \left(\frac{100}{C} \right)^{1.85} \left(\frac{Q^{1.85}}{ID^{4.866}} \right) \quad (3.9)$$

dimana:

hf = Friction Head loss in feet of water per 100 feet of pipe, $ft_{h20}/100$ ft pipe

c = Hazen-Williams roughness constant

Q = Laju alir, BOPD

ID = Inside diameter, inches

3.5. Karakteristik Kinerja Pompa

3.5.1. Prinsip Kinerja ESP

Sejenis pompa sentrifugal berpengerak motor listrik yang didesain untuk mampu ditenggelamkan di dalam sumber fluida kerja. Tujuannya adalah untuk dapat menghindari terjadinya kavitasi pada pompa. Pompa dengan desain khusus ini digunakan pada kondisi-kondisi yang khusus pula. Seperti untuk mengangkat air dari sumber / mata air yang berada di dalam tanah, mengangkat fluida berwujud *sludge* (lumpur), dan juga mengangkat minyak mentah pada proses pengeboran minyak bumi.

3.5.2. Performa Pompa

Dalam percobaannya, pompa dijalankan pada kecepatan konstan dan laju alir yang bervariasi. Selama percobaan laju alir, tekanan meningkat pada pompa dan *brake horsepower* diukur pada beberapa titik. Peningkatan tekanan kemudian dikonversi menjadi *Head* dan keseluruhan efisiensi pompa dihitung.

3.5.3. Kavitasi dan NPSH (*Net Positive Suction Head*)

Jika tekanan absolut cairan pada pompa menurun dibawah tekanan *bubble point* (PB), pada temperatur cairannya, maka gas yang semulanya terlarut akan melepaskan diri. Gelembung-gelembung ini akan mengalir bersama cairan sampai

pada daerah yang mempunyai tekanan yang lebih tinggi dicapai, dimana gelembung akan mengecil lagi secara tiba-tiba yang mengakibatkan *shock* yang besar pada dinding disekitarnya. Fenomena ini dinamakan kavitasi.

Kavitasi mempunyai efek yang signifikan pada performa pompa yaitu penurunan efisiensi dari pompa itu sendiri. Kavitasi dimulai ketika tekanan absolute pada pompa mencapai tekanan *bubble point* kemudian pada kejadian tertentu berkaitan erat dengan daya hisap pompa. Kondisi *suction* minimum yang diperlukan untuk mencegah kavitasi pada suatu pompa yang disebut *Net Positive Suction Head*.

3.5.4. Perencanaan Pompa ESP

Dalam perencanaan analisa pengaruh gas pada perencanaan pompa ESP dengan menggunakan metode nomograph, ada beberapa perhitungan yang harus diperhatikan.

1. Penentuan gas total dalam larutan

$$V_{t \text{ gas}} = Q (1 - WC) \times GOR \quad (3.10)$$

2. Penentuan gas total yang masih terlarut @ PIP

$$V_{t \text{ gas @PIP}} = R_{s \text{ @PIP}} \times Q (1 - WC) \quad (3.11)$$

3. Penentuan volume gas bebas @PIP

$$V_{g \text{ as @PIP}} = (V_{t \text{ gas}} - V_{t \text{ gas @PIP}}) \times B_g \quad (3.12)$$

4. Penentuan volume minyak @PIP

$$V_o = Q (1 - WC) \times B_o \quad (3.13)$$

5. Penentuan volume air

$$V_w = Q \times WC \quad (3.14)$$

6. Volume total @PIP

$$V_{t@PIP} = V_o + V_w + V_{gas@PIP} \quad (3.15)$$

7. % gas terhadap volume total @PIP

$$\% \text{ volume gas} = \frac{V_{gas@PIP}}{V_{t@PIP}} \times 100\% \quad (3.16)$$

8. Penentuan volume gas masuk pompa

$$V_{g \text{ masuk pompa}} = 10\% \times V_{gas@PIP} \quad (3.17)$$

9. Volume total yang masuk pompa

$$V_t = V_o + V_w + V_{g \text{ masuk pompa}} \quad (3.18)$$

10. Persentase gas masuk pompa

$$\% \text{ gas} = \frac{V_{g \text{ masuk pompa}}}{V_{t \text{ masuk pompa}}} \times 100\% \quad (3.19)$$

3.6. Nomograf Usulan

3.6.1. Nomograf untuk menentukan volume fluida masuk pompa

Dari persamaan-persamaan sebelumnya untuk menentukan volume fluida masuk pompa dapat disederhanakan menjadi:

$$V_t = \frac{Q_i}{10000} \{(1 - WC) \times Bg \times (GOR - Rs) + 10000[Bo - (Bo - 1)WC]\} \quad (3.20)$$

Maka dari persamaan dibuat permisalan agar lebih mudah:

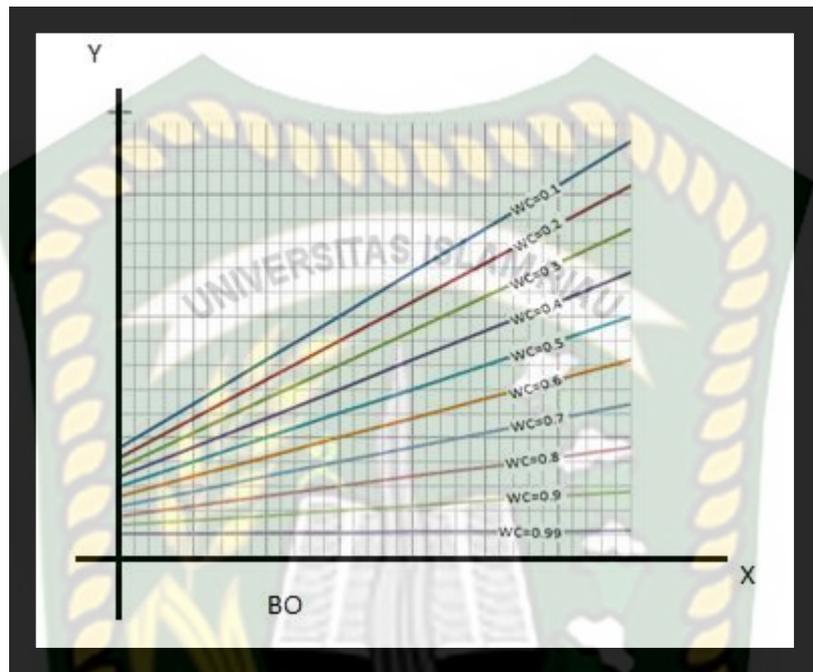
$$A = \{(1 - WC) \times Bg \times (GOR - Rs) + 10000[Bo - (Bo - 1)WC]\} \quad (3.21)$$

Maka untuk menentukan nilai A, A dibagi menjadi 2 bagian dimana $A=B+C$, sedangkan B dan C adalah:

$$B = \{(1 - WC) \times Bg \times (GOR - Rs)\} \quad (3.22)$$

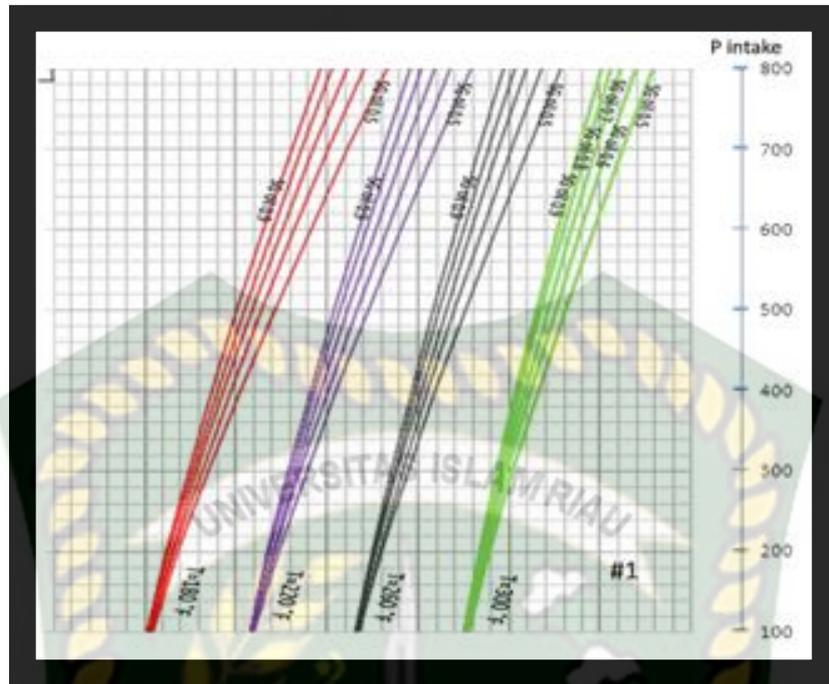
$$C = \{10000[Bo - (Bo - 1)WC]\} \quad (3.23)$$

Dimana untuk persamaan C didapat plot kurva Bo vs Wc dengan rentang 0.1-0.9 sebagai berikut:



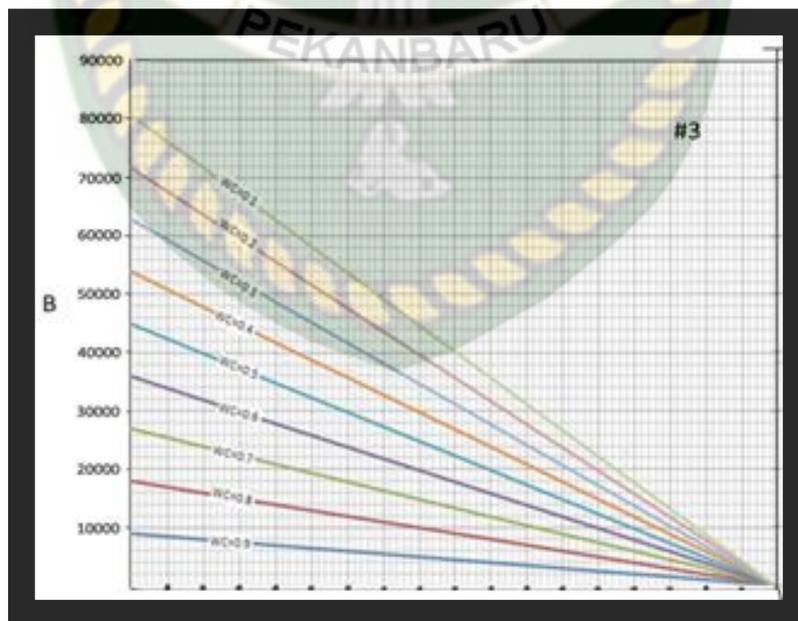
Gambar 3.10. Kurva Bo vs WC

Setelah itu kita plot bersamaan dengan kurva Bo, Sg *oil* dan temperatur dengan kondisi yang sudah dicari, maka dihasilkan grafik:



Gambar 3.11. Kurva Bo vs SG oil

Kemudian untuk menentukan nilai B, plot B terhadap $B_g \times (GOR-R_s)$ dengan nilai WC 0.1-0.9, ditunjukkan oleh grafik:



Gambar 3.12. Kurva $B_g \times (GOR-R_s)$

Untuk dapat menentukan plot tersebut maka kita harus menentukan nilai:

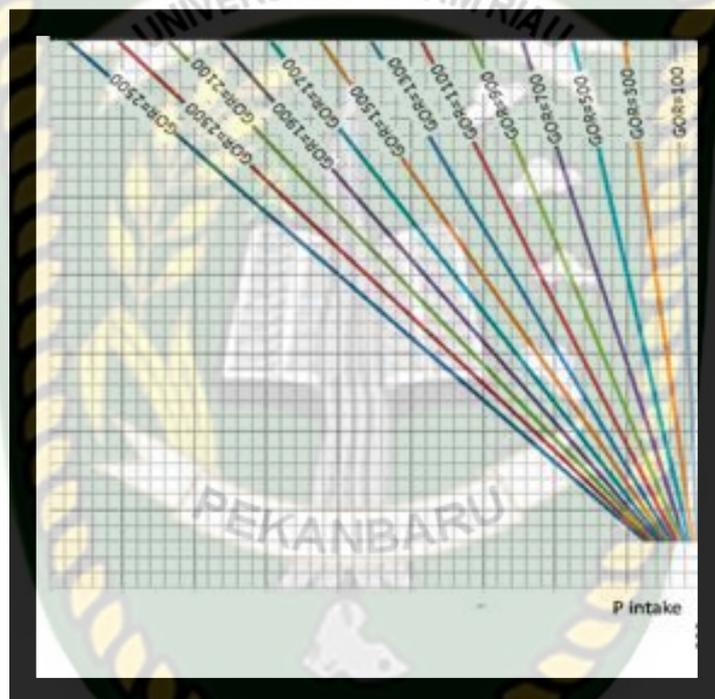
$$D = Bg \times (GOR - Rs) \quad (3.24)$$

Dengan catatan dibagi menjadi dua bagian yaitu $D=E-F$. Sedangkan $E-F$ adalah:

$$E = Bg \times GOR \quad (3.25)$$

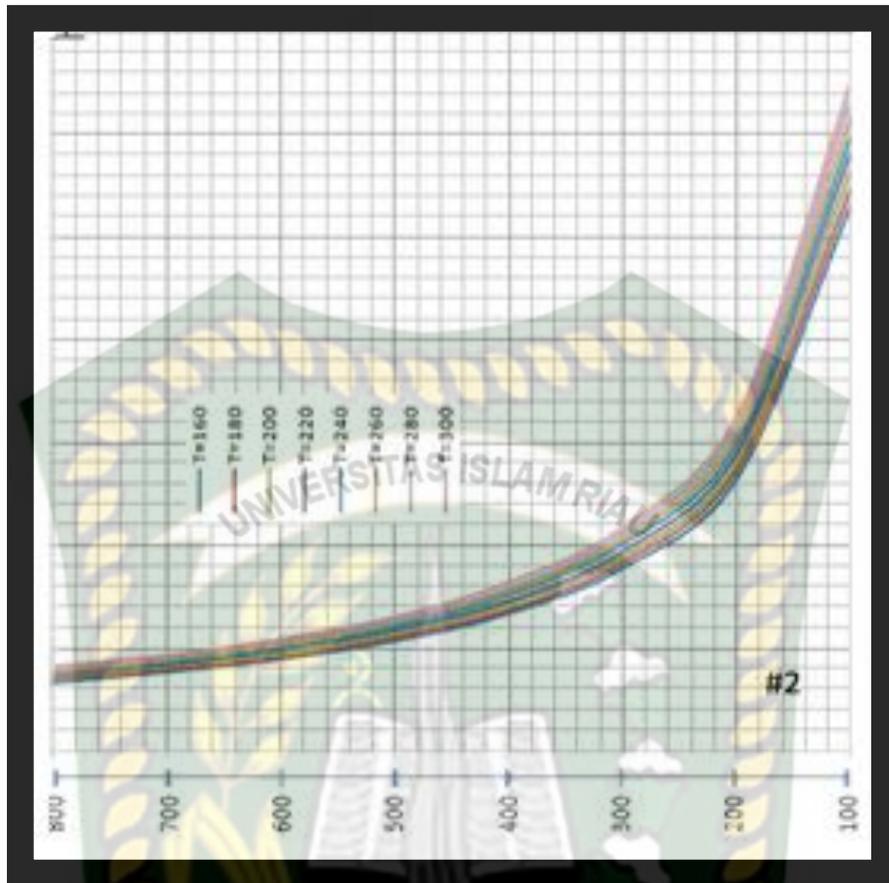
$$F = Bg \times Rs \quad (3.26)$$

Kemudian plot E dengan berbagai GOR dengan grafik:



Gambar 3.13. Kurva GOR terhadap Pump *Intake*

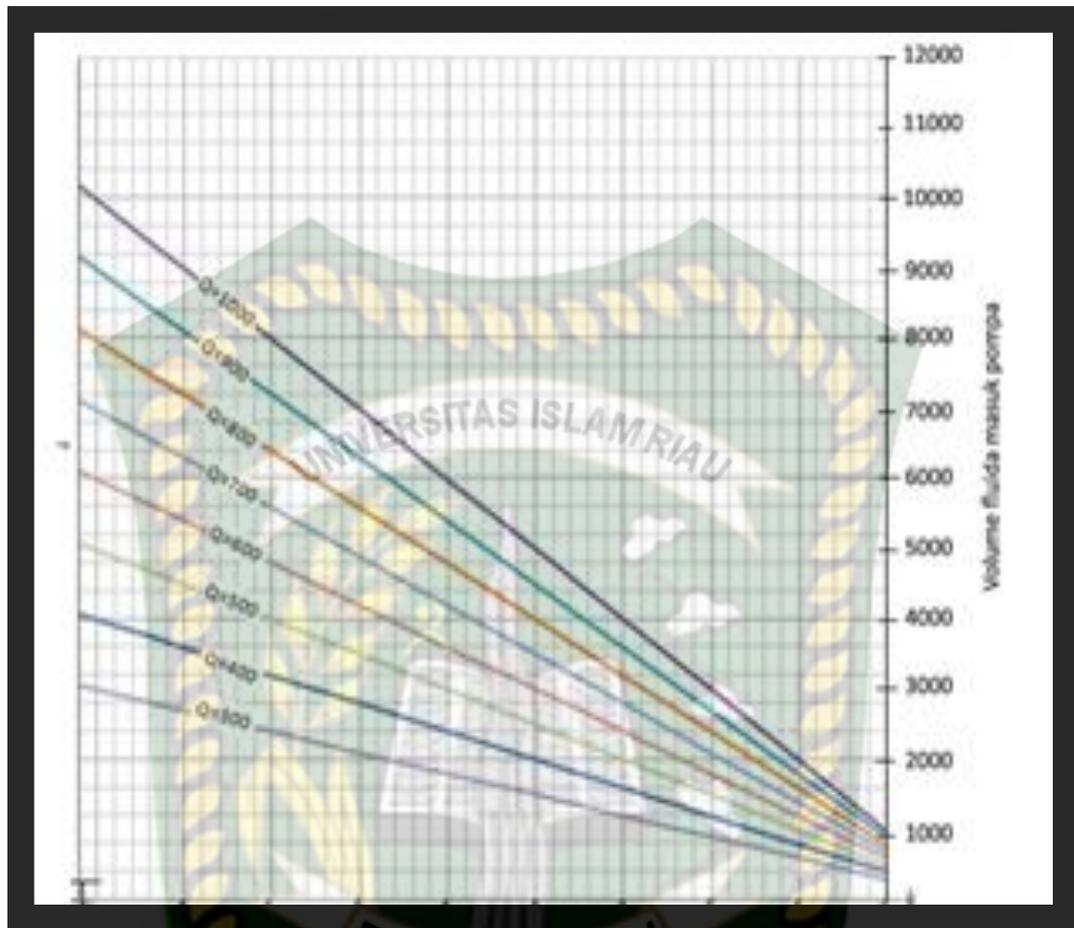
Untuk dapat menentukan plot Bg maka Bg harus ditentukan oleh grafik plot antara P_{intake} dengan temperatur, dengan grafik sebagai berikut:



Gambar 3.14. Kurva P_{intake} vs Temperatur

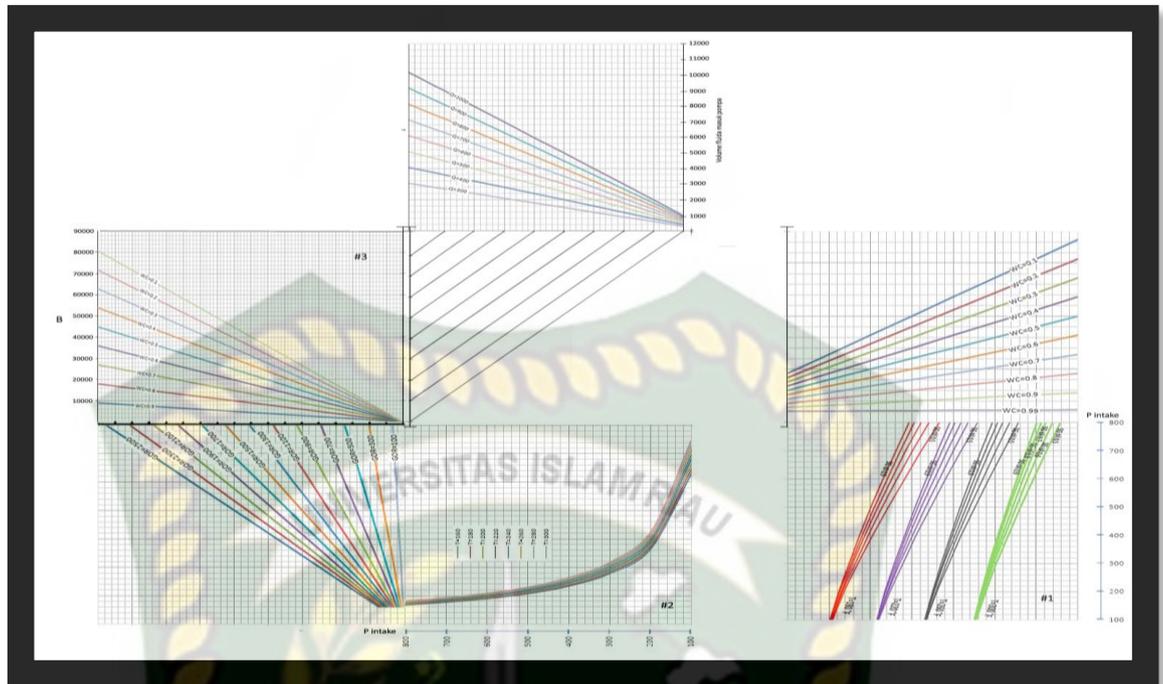
Karena nilai F terlalu kecil, maka pengurangan $E-F$ tidak terlalu signifikan sehingga nilai F dapat diabaikan.

Setelah mendapatkan nilai E , D , B dan C maka nilai A dapat ditentukan. Maka langkah terakhir menentukan volume fluida masuk pompa dengan memplot A dengan rentang nilai laju produksi yang diinginkan, maka dari persamaan A didapatkan grafik:



Gambar 3.15. Kurva Penentuan Volume Fluida Masuk Pompa

Untuk menjadikan suatu nomograf maka dilakukan penggabungan grafik B-F. Grafik inilah yang nanti digunakan untuk menghitung volume fluida masuk pompa. Dengan hasil sebagai berikut:



Gambar 3.16. Kurva Nomograph Untuk Penentuan Volume Fluida Masuk Pompa

Untuk pembacaan Nomograf Usulannya, dilakukan dengan cara sebagai berikut:

1. Pada kurva nomor #1, plot ke kiri nilai *pump intake press* terhadap nilai SG oil dan temperturnya.
2. Setelah itu tarik keatas sampai mengenai nilai *water cut* dari data sumur yang tersedia.
3. Setelah menyentuh nilai *water cut*nya, tarik garis ke kiri sampai batas garis. Kita anggap titik tersebut poin "A"
4. Beralih ke kurva nomor #2, plot nilai *pump intake pressure* ke atas sampai mengenai temperatur reservoir yang ada pada data.
5. Setelah menyentuh garis temperatur yang dimaksud, tarik garis ke kiri sampai mengenai nilai GOR yang ada pada data.
6. Lalu tarik garis ke atas dari titik GOR yang sudah digaris sebelumnya sampai mengenai *water cut* pada data sumur tadi (kurva #3).

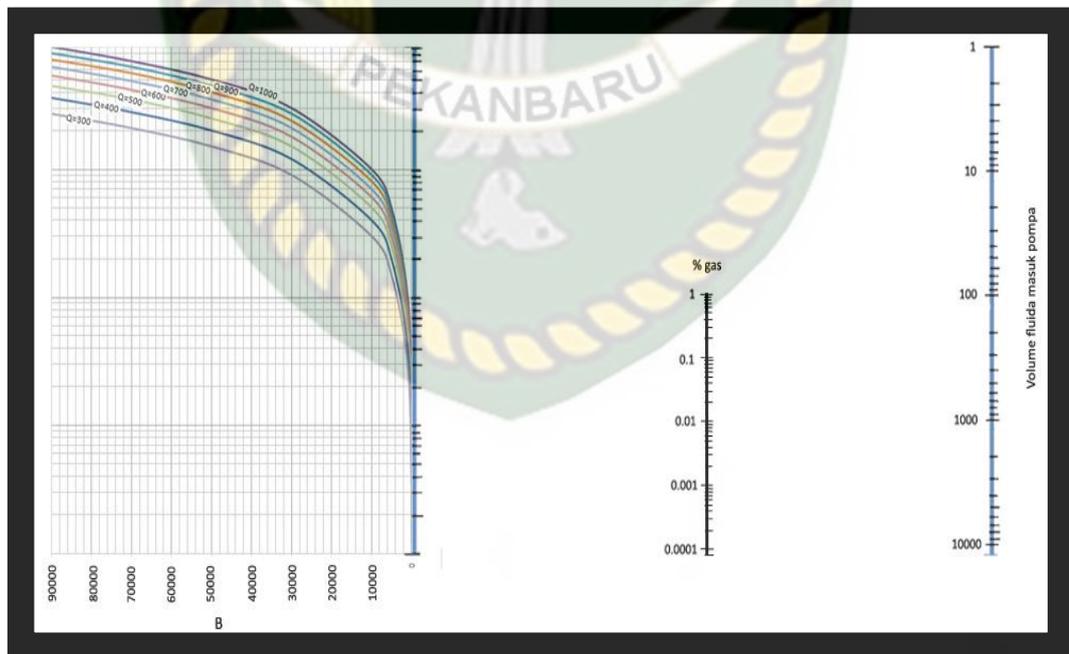
7. Tarik garis lurus mulai dari sumbu B dari nilai *water cut* tadi. Lihat berapa nilai persamaan B. Lalu tandai titik yg sebelah kanan dengan anggapan poin “B”.
8. Hubungkan poin A dan B dengan menarik garis. Setelah itu tarik garis miring sejajar berdasarkan garis yang sudah ada sampai pada grafik volume fluida masuk pompa.
9. Tarik garis lurus sampai mengenai Q yang ada pada data. Dan baca berapa volume fluida masuk pompa.

3.6.2. Nomograf untuk menentukan gas masuk pompa

Dari rumus yg sudah ada sebelumnya maka untuk menentukan persentase gas yang masuk dapat disederhanakan menjadi:

$$\%gas = \frac{Q_i (1-WC) \times Bg \times (GOR - R_s)}{10000 \times Vt} \quad (3.27)$$

Dengan nilai Vt yg sudah ada dari nomograf sebelumnya, maka didapat grafik nomograf berikutnya sebagai berikut



Gambar 3.17. Kurva Nomograph Untuk Penentuan Persen Gas Masuk Pompa

Untuk pembacaannya bisa dilakukan dengan cara sebagai berikut:

1. Ambil nilai B pada grafik nomograph sebelumnya. Lalu tarik garis ke atas sampai mengenai nilai Q pada data yang sudah tersedia,
2. Tarik garis lurus ke kanan sampai mengenai batas garis. Tandai titik tersebut.
3. Pada garis volume fluida masuk pompa yang ada di sebelah kanan. Ambil dari nilai yang ditunjukkan nomograf sebelumnya. Setelah itu tarik garis lurus dari nilai tersebut sampai ke titik yang ada di kurva B.
4. Baca nilai persentasi gas masuk pompa berdasarkan perpotongan garis yang di tengah.

