BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Electric Submersible Pump

Electric Submersible Pump adalah salah satu artificial lift dengan cara memompa fluida ke permukaan. Electrical Submersible Pump (ESP) yang biasa disebut REDA Pump, REDA singkatan dari Russian Electro Dynamo of Aritunof, pada tahun 1911 seorang kelahiran Rusia bernama Armais Aritunoff menemukan teknologi motor listrik yang ditenggelamkan di dalam cairan air sebagai penggerak pompa air (centifugal) untuk kepentingan militer setelah peperangan selesai, Arutunoff membuat single Stage centrifugal pump yang digerakkan oleh motor listrik untuk kepentingan pertambangan, tidak lama kemudian, dibuat multi Stage pump (pompa bertingkat banyak) dimana motor listriknya ikut ditenggelamkan di dalam cairan. Sejak saat itu muncul teknologi pengangkatan buatan untuk memompakan cairan dari dalam sumur ke permukaan dengan pompa centrifugal bertingkat banyak (multi Stage) dan sebuah Perusahaan di Rusia menamakannya dengan REDA Pump. (William, J 1980).

Electrical Submersible Pump digunakan sebagai artificial lift pada sumur produksi karena beberapa faktor, (Reda.1996) antara lain:

- 1. Jenis pompa ini dapat digunakan pada sumur-sumur yang relatif dalam dengan laju produksi dari 100 BFPD samapai 30.000 BFPD.
- 2. Gas Oil Rate (GOR) yang rendah sangat baik untuk penggunaan Electrical Submersible Pump.
- 3. Panas yang dihasilkan dari kinerja Motor diharapkan dapat menurunkan viskositas fluida.
- 4. *Electrical Submersible Pump* digunakan pada tipe sumur yang tidak banyak mengandung pasir atau pada lapisan yang *consolidate*

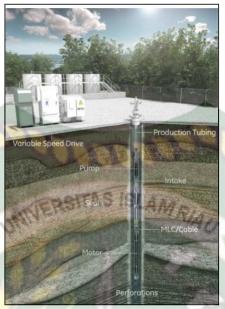
Electric Submersible Pump adalah sebuah rangkaian pompa yang terdiri dari banyak tingkat (multi Stages) dengan motor dibenamkan didalam fluida dan menggunakan aliran listrik dari permukaan. Electrical Submersible Pump merupakan jenis artificial lift dengan harga yang cukup mahal dibandingkan

dengan pengangkatan buatan lainnya, seperti *Sucker Rod Pump, Gas Lift* dan *artificial lift* lainnya, akan tetapi dapat menghasilkan pengembalian biaya dengan cepat oleh karena kemampuannya untuk menghasilkan laju produksi yang tinggi (Baker Huges, 2008).

Sistem kerja dari pompa *Submersible* ini adalah dengan mengalirkan energi listrik dari *transformer* (*step down*) melalui *switchboard*. Pada *switchboard*, semua kinerja dari *Submersible Pump System* (*SPS*) dan kabel akan dikontrol/dimonitor. Kemudian energi listrik akan diteruskan dari *switchboard* ke motor melalui *submersible cable* yang diletakkan di sepanjang *tubing* dari rangkaian *SPS* (General Electric, 2015).

Selanjutnya, Melalui motor energi listrik akan dirubah menjadi energi mekanik yaitu berupa tenaga putar. Putaran akan diteruskan ke protector dan pump melalui shaft yang dihubungkan dengan coupling. Pada saat shaft dari pompa berputar, impeller akan ikut berputar dan mendorong fluida yang masuk melalui pump intake atau gas separator ke permukaan. Fluida yang didorong, secara bertahap akan memasuki tubing dan terus menuju ke permukaan sampai ke gathering station (stasiun pengumpul). Unit Electrical Submersible Pump dibagi menjadi dua bagian utama, yaitu peralatan dibawah permukaan (Down Hole Equipment ESP) dan peralatan diatas permukaan (Surface Equipment) (Bion, 2005).

Peralatan di bawah permukaan (*Down Hole Equipmen ESP*) terdiri atas *Centralizer*, *Psi downhole*, *Motor*, *Protector*, *Intake (Gas Separator)*, *Pump*, *Cable*(*Flat Cable* dan *Round Cable*) *Cheek Valve*, *Bleeder Valve* dan *Tubing*,. Sedangkan peralatan diatas permukaan (*Surface Hole Equipment ESP*) terdiri atas *Tubing Support Well Head*, *Junction Box*, *Switch Board / VSD* dan *Transformer*. (Canadian, 2015). Komponen ESP dapat dilihat pada gambar 2.1



Gambar 2.1. Komponen ESP (GE Oil & Gas artificial lift Solution, 2015)

2.1.1. Unit Bawah Permukaan (Down Hole Equipment ESP)

2.1.1.1 PSI Unit (Pressure Sensing Instruments)

PSI (Pressure Sensing Instrument) adalah suatu alat yang mencatat tekanan dan temperature sumur. Secara umum PSI unit mempunyai 2 komponen pokok, yaitu (Woodgroup, 1996):

a. PSI Down Hole Unit

Dipasang dibawah *Motor Type Upper* atau *Center Tandem*, karena alat ini dihubungkan pada *Wye* dari *Electric Motor* yang seolah-olah merupakan bagian dari motor tersebut.

b. PSI Surface Readout

Merupakan bagian dari system yang mengontrol kerja *Down Hole Unit* serta menampakkan (*Display*) informasi yang diambil dari *Down Hole Unit*. Untuk PSI downhole unit dan PSI *Surface Readout* dapat dilihat pada gambar 2.2



Gambar 2.2 Pressure Sensing Instrument (Woodgroup, 1996)

2.1.1.2 Motor Listrik (*Electric Motor*)

Electric Submersible Pump Unit yang berada dibawah permukaan didefenisikan sebagai suatu kesatuan peralatan yang digantungkan di ujung tubing produksi dan dibenamkan kedalam sumur fluida. Motor listrik dipasang pada bagian paling bawah kemudian diatasnya protector. Selanjutnya pompa dan Intake / Gas Separator yang merupakan tempat masuknya fluida ke dalam pompa ESP, yang dipasang pada bagian atas. Motor listrik dihubungkan ke switchboard / VSD oleh kabel listrik yang di letak (di jepit) sepanjang tubing.

Fungsi motor listrik ini adalah untuk menggerakkan pompa dengan jalan merubah energi listrik yang dikirim ke motor melalui kabel untuk menjadi energi mekanik (energi putar). Energi ini nantinya akan menggerakkan pompa melaui *shaft* yang terdapat pada setiap unit dan antara *shaft* dengan *shaft* yang lainnya dihubungkan dengan *coupling*. Pada dasarnya motor listrik terdiri dari 2 bagian besar yaitu *stator* yang tidak berputar dan *rotor* yang berputar. (General Electric, 2015)

1. Stator

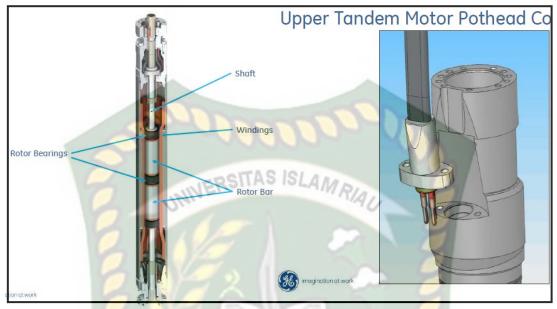
Pada motor, reda stator terbuat dari lapisan besi dan kuningan yang di tekan ke bagian bawah, lapisan ini digunakan karena lebih mudah di magnetisasi dibandingkan dengan besi pejal. Lapisan ini mengandung (3-4) % silicon untuk menambah sifat magnet dari besi dan dapat juga lapisan oksida yang berfungsi untuk memisahkan dengan lapisan kuningan. Lapisan kuningan digunakan pada

bagian yang terdapat bantalan untuk memegang *rotor*. Pada stator terdapat 16 slot dan setiap *slot* di isolasi dengan *Teflon* yang mempunyai sifat *electric* yang tinggi, *stator* kemudian dililit dengan lapisan *kapton* dan kawat tembaga yang kemudian dilapisi dengan vernish untuk menutupi daerah kosong yang terdapat pada slot.

2. Rotor

Rotor yang digunakan sangat panjang sehingga membutuhkan penahan pada beberapa tempat, untuk itu rotor, harus dibagi beberapa bagian dengan penahan diantaranya dapat mencegah gerakan lateral dan kontak antara rotor dan stator. Penahan dilengkapi dengan bantalan sehingga memungkinkan rotor dan poros bergerak bebas, bantalan ini terletak pada bagian rotor sedangkan lilitan pada bagian stator tidak terputus sehingga perlu membuat daerah yang tidak terdapat medan magnet sebagai tempat bantalan, untuk itu digunakan lapisan stator yang nonmagnetic (kuningan) disekitar daerah bantalan pada stator.

Banyak *rotor* yang terdapat pada motor merupakan besarnya daya yang dikeluarkan motor. Dibawah ini dapat dilihat seri motor yang dipakai dan besarnya *horse power per rotor*. Bentuk motor listrik ini dapat dilihat pada gambar 2.3



Gambar 2.3 Motor Listrik (GE Oil & Gas artificial lift Solution, 2015)

2.1.1.3 Protector

Fungsi utama dari *Protector* adalah sebagai pelindung motor listrik dengan cara sebagai berikut (Canadian,1999):

- 1. Menahan cairan yang masuk dari *wellbore* agar tidak masuk kedalam motor.
- 2. Menyamakan tekanan yang ada dalam motor dengan tekanan yang datang dari *wellbore*.
- 3. Memberikan kesempatan kepada minyak yang ada didalam motor listrik untuk dapat mendinginkan motor semaksimal mungkin sewaktu dihidupkan.

Selain fungsi diatas, *Protector* mempunyai tugas pokok lainnya, yaitu Menyeimbangkan tekanan dalam motor dengan tekanan dalam annulus, mengakomodasi pengembangan *fluida/liquid* motor karena naiknya temperature serta menyambungkan motor dengan *intake* pompa. Bentuk *protector* dapat dilihat pada Gambar 2.4



Gambar 2.4 Protector (GE Oil & Gas artificial lift Solution, 2015)

Ada dua jenis *protector*, (Canadian, 1999) yaitu :

1. Labyrinth Path

Protector ini terdiri dari dua chamber (Upper dan Lower) yang dihubungkan beberapa pipa. Kerja dari tipe ini berdasarkan prinsip gravitasi, dimana perbedaan berat jenis. Pada waktu rangkaian ESP dimasukkan kedalam sumur akan terjadi kenaikan temperature didalam motor dan didalam protector, minyak motor akan memuai dan akibatnya sebagian minyak motor akan terbuang ke annulus melalui sebuah lubang dibawah intake.

Ketika motor dihidupkan, kenaikan temperatur terjadi sangat cepat, minyak mengembang selaras dengan kenaikan temperatur dan sebagian terbuang ke *annulus*. Ketika motor dimatikan akan terjadi penurunan temperatur dan minyak motor akan menyusut. Penyusutan minyak motor ini akan disertai masuknya fluida sumur kedalam *protector* menggantikan sejumlah minyak yang terbuang. Karena *specific gravity* fluida sumur lebih besar maka ia akan mengisi bagian bawah *chamber* sedangkan minyak motor akan tetap berada di bagian atas.

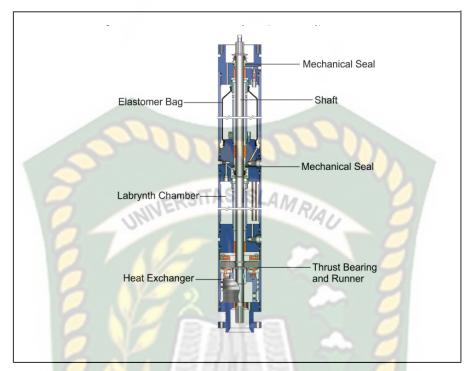
Apabila hidup mati ini dilakukan berulang-ulang maka *chamber* atas akan penuh berisi fluida sumur, melalui *tube* yang menghubungkan antara *chamber* fluida sumur akan turun dan mengisi *chamber* yang berikutnya. Begitu seterusnya

pada suatu saat fluida sumur akan memasuki motor, dan pada saat itulah motor akan mangalami kerusakan. Dari kontruksinya *protector* ini tidak direkomendasikan untuk dipasang pada sumur-sumur miring dan *specific gravity* dari fluida lebih ringan dari minyak motor. *Protector* jenis ini dapat dilihat pada Gambar 2.5.

2. Positive Seal (Bag Type Protector)

Bila *Labyrint 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 matrial karet yang tahan terhadap temperatur, tekanan bahkan hidrokarbon.

Pada waktu dihidupkan, temperatur dari motor akan naik sampai mencapai operating temperatur motor dan ini menyebabkan minyak motor akan mengembang. *Elastomer* bag menampung minyak motor pada saat pengembangannya. Untuk pembuangan minyak motor yang berlebihan ± (2 – 4) % dipasang sebuah *relief valve* yang akan terbuka secara otomatis pada tekanan 3 sampai 5 Psi. pada waktu motor dimatikan, maka bag akan ditarik kedalam oleh kempisnya (*collapse*) minyak motor, sehingga ada bahagian yang vakum akan menarik fluida di sumur kebagian luar dari bagnya. Kegagalan *protector* jenis ini apabila terjadi kerusakan pada sealnya atau elastomer bagnya tersobek karena suatu sebab tertentu sehingga fluida akan masuk ke bag. Bentuk *Protector* yang telah dikombinasikan dapat dilihat pada Gambar 2.5



Gambar 2.5 Jenis *Protector* (Hughes Baker, 2002)

Dalam beberapa hal, kemungkinan untuk memasang *protector* lebih dari satu didalam sumur atau sering disebut dengan *Tandem Protector*. Hal ini dimaksudkan untuk mencoba menambah panjang umur dari unit motor. Dibawah ini pedoman untuk *Tandem Protector*:

1. 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.

2. Labyrinth (top)/Positive Seal

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

3. 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*.

4. Positive Seal (top) Labyrinth:

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

2.1.1.4. Gas Separator

Alat ini merupakan bagian dari pompa yang berfungsi sebagai *intake* masuknya fluida kedalam pompa disamping pemisah gas dengan fluida. 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 memproduksikan 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. Bentuk Gas Separator dapat di lihat pada Gambar 3.5. Terdiri dari Beberapa Jenis (Schlumberger, 2004):

1. Standard intake.

Unit ini dipasang sebagai *screen* dan port tempat masuknya fluida kedalam pompa. Standard *intake* tidak memisahlan gas dan cairan.

2. Reverse Flow Gas Separator / Static Gas Separator

Separator ini bekerja dengan mengaduk fluida secara terbalik, dengan demikian jumlah gas yang terangkat ke permukaan akan lebih banyak dari pada fluida yang terhisap ke bawah dengan kecepatan tertentu. Prinsip kerja *reverse flow* gas separator ini adalah :

- a. Fluida masuk dari screen kebawah
- b. Cairan akan mengalami pembalikan arah, diangkat kepompa oleh *pick up impeller*, gas akan naik keatas karena perbedaan *specific gravity*.
- c. Efektifitas pemisahan gas 20% dari total volume gas dalam fluida.

3. Rotary Gas Separator/Dynamic Gas Separator

Rotary Gas Separator bekerja berdasarkan prinsip centrifugal tidak seperti Reverse Flow Gas Separator yang bekerja dengan prinsip gravitasi, dan dalam usaha memisahkan gas lebih efektif. Dari masing-masing gas separator dapat dilihat pada gambar 2.6



Gambar 2.6 Gas Separator (Schlumberger, 2004)

2.1.1.5 Pompa (*Pump*)

Pompa pada rangkaian *Electrical Submersible Pump* dibuat dengan *Stage* bertingkat, dan setiap *Stage* terdiri dari satu *impeller* yang dikunci dengan *shaft* yang merupakan bagian yang berputar, yang berfungsi untuk memindahkan fluida dari satu tempat ketempat yang lainnya. Kemudian setiap *Stage* juga terdiri dari *diffuser* yang merupakan bagian yang tidak berputar dan berfungsi untuk mengarahkan fluida ke *Stage* berikutnya. *Stage* adalah jumlah tingkat yang tersedia pada unit pompa pada ESP. Secara umum pompa pada ESP terdiri dari beberapa bagian (Bion, 1997)

1. 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.

2. Diffuser

Diffuser merupakan komponen dari pompa yang dijepit pada housing dan dijaga agar tidak bergerak, didalam *diffuser* terdapat sudu-sudu pengarah aliran

fluida dari *Stage* yang lebih rendah ke *Stage* yang lebih tinggi. Adapun fungsi *diffuser* adalah membalikkan arah fluida dan mengarahkan kembali keporos dan kebagian tengah dari *impeller* diatasnya.

Selain hal tersebut diatas, *Impeller* juga digunakan untuk mengubah energi putaran (*Shafttorque*) ke energi kinetik (*velocity*), sedangkan *diffuser* kegunaannya adalah untuk mengubah energi kinetic menjadi energi potensial (tekanan). *Diffuser* dan *impeller* umumnya dibuat dari material jenis *Ni-Resist* yang merupakan special logam *alloy* tahan karat. Untuk kasus-kasus tertentu bias di buat dari jenis logam lain sesuai dengan kebutuhan aplikasinya (Boret, 1997). Bentuk dari pompa dapat dilihat pada gambar 2.7



Gambar 2.7 Pompa (Boret, 1997)

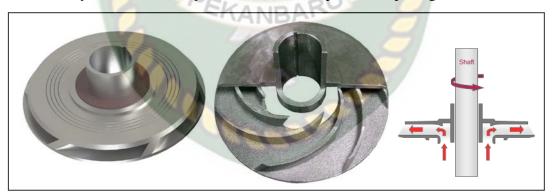
Dalam pemasangan di lapangan bisa menggunakan lebih dari satu pompa, bisa dua atau tiga, pemasangan ini disebut tandem. Alasan pemasangan tandem adalah untuk memenuhi jumlah *Stages* pompa dan untuk mendapatkan kapasitas head yang dibutuhkan untuk menaikkan fluida sumur permukaan. Besarnya *opening vane* pada *impeller* sangat menentukan kapasitas rate fluida yang diproduksinya

Pompa *Electrical Submersible Pump* terbagi dalam 2 (dua) tipe, yaitu *Floater Type* (bergerak bebas terhadap shaft) dan *Compression Type* (terkunci pada shaft)

Pada type *floater, impeller-impeller* bergerak bebas ke atas dan kebawah tidak tergantung pada pergerakan *shaft*. Di dalam operasi masing-masing *impeller* bebas bergerak tidak tergantung satu sama lain, dimana idealnya adalah mengambang antara kondisi *up-thrust* dan *down-thrust*. Pada setiap *impeller* dipasang *up-thrust washer* dan *down-thrust washer* yang fungsinya mencegah terjadinya kerusakan dini bila terjadi beberapa atau seluruh *impeller* beroperasi diluar daerah yang direkomendasikan. Berat dari pada *shaft* ditanggung oleh *thrust bearing* daripada *protector*. Kapasitas daripada *thrust bearing protector* juga menentukan jumlah *Stages* yang dapat dipasang pada pmpa diatasnya karena *Head-Feet* (dalam Psi) yang dihasilkan pompa dikali luas penamapang *shaft* adalah gaya tekan yang harus diatasi oleh *thrust bearing* pada *protector*.

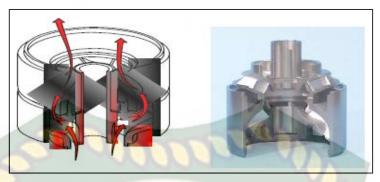
Secara umum *Impeller* pada Pompa dibagi 2 jenis (Canadian, 2007)

1. Radial flow dimana impeller menggerakkan fluida pada sudut 90 derajat dari shaftnya, bentuk dari impeller radial flow dapat dilihat pada gambar 2.8



Gambar 2.8 Impeller Radial Flow (GE Oil & Gas artificial lift Solution, 2015)

2. *Mixed flow* dimana setiap *Stage* mempunyai energy yang berbeda untuk memindahkan fluida, energy tersebut biasanya ditujukan didalam tekanan (PSI) atau head feet (ketinggian dalam suatu feet), bentuk dari *impeller* Mix flow dapat dilihat pada gambar 2.9



Gambar 2.9 Impeller Mix Flow (GE Oil & Gas artificial lift Solution, 2015)

2.1.1.6 Kabel Power (cable)

Kabel gunanya adalah untuk mengalirkan arus listrik dari sumber ke motor listrik, kabel ini ditempelkan sepanjang *tubing* dengan menggunakan penjepit. Unit kabel listrik ini terdiri atas tiga buah kabel tembaga yang satu dengan yang lain dipisahkan oleh pembalut yang terbuat dari karet. Pada bagian luar cabel ini di bungkus dengan pelindung baja. Ada dua jenis cabel yaitu *Flat cable* (pipih) dan *Round cable* (bulat). Dalam pemilihan jenis kabel yang akan digunakan dipengaruhi oleh ukuran casing, *tubing* maupun unit pompa dan besarnya *voltage* yang dibutuhkan motor listrik (Alqurayef, 1993).

Arus listrik dibutuhkan untuk menghidupkan motor yang ada didalam sumur. Untuk itu dibutuhkan penghantar (kabel) yang mampu menahan temperatur tinggi, tekanan dan kedap air untuk mensuplai arus maksimum ke motor dengan kerugian tegangan (voltage drop) minimum. Dibeberapa sumur tertentu bahkan dibutuhkan cable yang mampu bertahan terhadap serangan korosi (karat dan tekanan gas yang tinggi). Cable dibuat dengan kemampuan range tertentu dalam konfigurasi bentuk: Round dan Flat dengan ukuran yang bervariasi. Bentuk kabel listrik (submersible cable) terlihat seperti pada Gambar 2.10



Gambar 2.10 Submersible Cable (Baker Hughes, 2002)

2.1.2 Unit di atas Permukaan (Surface ESP Equipment)

Electrical Submersible Pump unit yang berada di atas permukaan diartikan suatu kesatuan peralatan yang penempatannya berada di atas permukaan tanah yang terdiri dari Switchboard, Transformer, Junction Box dan Wellhead (General Electric, 2015).

2.1.2.1 Switchboard.

Swicthboard adalah sebuah alat yang dikendalikan dan mengontrol operasi peralatan pompa yang ada di bawah permukaan. Alat ini merupakan kombinasi dari motor stater, alat pencatat tegangan, alat penstabil tegangan arus listrik selama pompa masih dalam kondisi beroperasi. Switchboard yang diproduksikan terdiri dari bermacam-macam jenis dan ukuran, mulai dari yang bertegangan 440 volt, sampai dengan 480 volt. Untuk pemakaian switchboard ini kita harus memperhitungkan beberapa faktor, yaitu besarmnya HP dari motor, voltage dan ampere. Bentuk switchboard dapat dilihat pada Gambar 2.11



Gambar 2.11 Switchboard / VSD (Baker Hughes, 2002)

2.1.2.2 Transformer

Transformer merupakan suatu alat listrik untuk mengubah voltase dari satu harga ke harga lainnya. Sebuah transformer step-up menerima suatu besarnya Voltase pada koil primernya dan mengubahnya menjadi besaran voltase yang lebih besar yang dapat diperoleh pada koil sekunder. Sebaliknya adalah step-down transformer. Bentuk transformer dapat dilihat pada Gambar 2.15. Dengan demikian, fungsi dari Transformer adalah untuk merubah tegangan yang berasal dari jala-jala listrik manjadi tegangan yang disesuaikan dengan tegangan yang dibutuhkan oleh motor listrik. Bentuk Tranformer dapat dilihat pada gambar 2.12



Gambar 2.12 Transformer (Lapangan Petroselat Ltd)

2.1.2.3. Junction Box

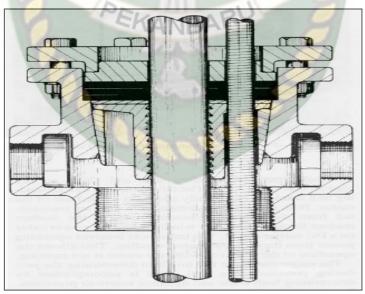
Junction Box berfungsi sebagai tempat pelepasan gas agar tidak merambat naik melalui kabel kedalam switchboard. Gas yang keluar dari sumur kemungkinan besar akan mengalir melalui amor kabel dan terus menuju ke switchboard. Untuk mencegah hal tersebut dibuat Juntion Box. Disini kabel dari reda motor akan disambung dengan kabel yang datang dari switchboard dan gas yang mengalir dari sumur akan lepas pada sambungan tersebut, karena amor kabel telah dibuka pada bagian penyambungan. Junction Box dipasang antara Well Head dengan switchboard dengan jarak minimum yang diizinkan yaitu 15 feet dari wellhead dan 35 feet dari switchboard, dan dipasang kira-kira 2 s/d 3 ft diatas permukaan tanah. Bentuk junction box dapat di lihat pada Gambar 2.13



Gambar 2.13 Juction Box (Baker (1996)

2.1.2.4. Wellhead (Tubing Head)

Tubing Head digunakan untuk menggantungkan tubing string pada casing head. Tubing Head mempunyai packing element (karet yang mempunyai lubang-lubang tempat reda cable). Karet ini menjaga agar fluida tidak keluar dari casing, dan agar tidak terjadi kebocoran (flowing). Bentuk wellhead dapat dilihat pada Gambar 2.17 (General Electric, 2015). Bentuk dari wellhead dapat dilipat pada gambar 2.14



Gambar 2.14 Wellhead (Baker Huges, 2005)

2.2 Sifat Fisik Fluida

2.2.1. Specific Grafity 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 (Kermit E Brown, 1980):

$$SG = \frac{141.5}{131.5 + API} \tag{1}$$

2.2.2. 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 (Baker huges, 2008):

$$R_{S} = Y_{g} \left(\frac{P_{\delta}}{18} \times \frac{10^{0.0125 \times 9 API}}{10^{0.00091} \times T(^{9}F)} \right) 2048$$
 (2)

Dimana:

T = Temperatur, °F

 P_b = Tekanan pada sistem, psi

y_a = Spesific Gravity Gas

R_S= Kelarutan gas dalam minyak

2.2.3. 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 (Schlumberger, 2004):

$$\beta_o = 0.9759 + 0.000120 \left[Rs \left(\frac{\gamma_d}{\gamma_o} \right)^{0.5} + 1.25 \left(T - 460 \right) \right]^{1.2} \dots (3)$$

Dimana:

T = Temperatur, °F

y = Spesific Gravity Gas

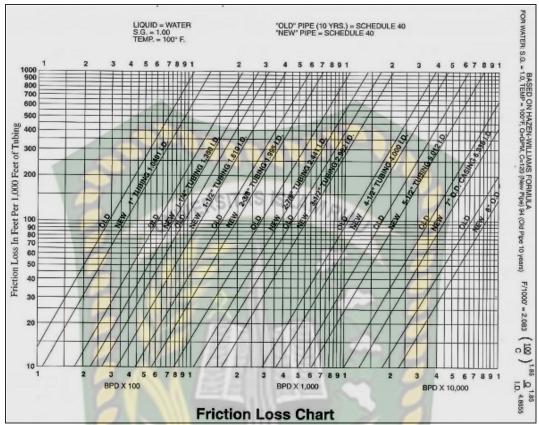
_v = Spesific Gravity Minyak

Untuk faktor volume formasi gas β_g ditunjukkan dengan persamaan:

$$\beta_g = 5.04 \left(\frac{z(460+T)}{p}\right)$$
(4)

2.3. 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*. Perhitungn *friction loss* didapat pada gambar 2.15 (Baker hughes, 2008)



Gambar 2.15 friction loss (Baker hughes, 2008)

2.4. Produktivitas Formasi

Produktivitas formasi adalah kemampuan suatu formasi untuk memproduksikan fluida yang dikandungnya pada kondisi tekanan tertentu. Pada umumnya sumur - sumur yang baru diketemukan mempunyai tenaga pendorong alamiah yang mampu mengalirkan fluida hidrokarbon dari reservoir ke permukaan dengan tenaganya sendiri, dengan berjalannya waktu produksi, kemampuan dari formasi untuk mengalirkan fluida tersebut akan mengalami penurunan, yang besarnya sangat tergantung pada penurunan tekanan reservoir. Parameter yang menyatakan produktivitas formasi adalah *Index Produktivitas* (PI) dan *Inflow Performance Relationship* (IPR).

2.4.1 Index Produktivitas

Index Produktivitas (PI) merupakan index yang digunakan untuk menyatakan kemampuan suatu formasi untuk berproduksi pada suatu beda tekanan tertentu atau merupakan perbandingan antara laju produksi yang dihasilkan formasi produktif pada *draw down* yang merupakan beda tekanan dasar sumur saat kondisi statis (Ps) dan saat terjadi aliran (Pwf). PI dituliskan dalam bentuk persamaan (baker huges company, 2008):

$$PI = J = \frac{Q}{(PS-PWF)}$$
 STB / Day/ Psi(5)

Keterangan:

q = Gross liquid rate, STB/hari

Ps = Tekanan statik reservoar, psi

Pwf = Tekanan alir dasar sumur, psi

Ps-Pwf = *Draw-down pressure*, psi

2.4.2 Kalkulasi Gas

Pada tahap ini kita menentukan total fluida tercampur dari air sampai minyak dan gas yang terprduksi oleh pompa.

A. Menentukan *Solution Gas / Ratio* (Rs) pada PIP (*Pump intake* Pressure) berdasarkan nomograph, atau menggantikan *pump intake* pressure untuk *buble point pressure* (Pb)

$$R_{S} = Y_{g} \left(\frac{P_{b}}{18} X \frac{10^{0.0125 \times {}^{\circ}API}}{10^{0.00091 \times T({}^{\circ}F)}} \right)$$
(6)

B. Menentukan Formation Volume Faktor (Bo), menggunakan nomograph

$$F = R_S \left(\frac{Y_E}{Y_O}\right) + 1.25T. \tag{7}$$

C. Menentukan Gas Volume Faktor (Bg)

$$B_g = \frac{5.04 \times Z \times T}{p}...(8)$$

D. Menentukan total volume fluida dan persentasi gas yang terbuang pada pump intake

WERSITAS ISLAMA

$$T_{G} = \frac{\text{BOPD} \times \text{GOR}}{1,000} \tag{9}$$

E. Menggunkan solution GOR (Rs) pada pump intake, menentukan saturated gas (Sg)

$$S_g = \frac{\text{BOPD X } R_S}{1,000} \tag{10}$$

F. Perbedaan yang diwakili volume dari *free gas* (Fg)yang terbuang dari solution

$$F_g = T_G \operatorname{mcf} - S_G \operatorname{mcf}$$
 (11)

G. Volume oil pada pump intake

H. Volume free gas Vg pada pump intake

$$Vg = Free gas x Gas Volume Faktor B_g$$
....(13)

I. Volume Air pada pump intake

J. Total Volume oil, Air, dan gas

$$V_t = V_o + V_g + V_w$$
 (15)

K. Rasio / persentase free gas pada pump intake total volume fluida

% Free gas =
$$\frac{v_g}{v_t}$$
....(16)

L. Penentuan *Specific gravity* termasuk gas dengan menghitung TMPF (*total mass of produced fluid*)

TMPF =
$$\{(BPOD \times SP \text{ gr}) \times 62.4 \times 5.6146 \} + (GOR \times BOPD \times Sp \text{ gr gas} \times 0.0752) \dots (17)$$

2.5. Perhitungan TDH (Total Dynamic Head)

TDH adalah kemampuan pompa untuk menentukan beberapa *Stages* supaya bisa mengangkat fluida dari tubing menuju permukaan. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi TDH yaitu, *Net Vertical Limit, Friction loss*, dan tekanan bawah sumur.

$$TDH = H_d + F_t + P_d \tag{18}$$

$$Hd = Pump depth - (\frac{PIP \times 2.31}{Spesific Grafity}) \qquad (19)$$

2.6. Pemilihan jenis Pompa

Didalam pemilihan pompa ini cukup dengan mengetahui hasil dari *Total Dinamic Head* (TDH) dibagi dengan jumlah Hd/*Stage* jenis pompa yang diinginkan.

$$Jumlah Stages = \frac{TDH}{Hd/stage}$$
 (20)