

## BAB II

### DASAR TEORI

#### 2.1 Pemboran

Pemboran adalah suatu proses melubangi lapisan tanah untuk mencari sumber energi minyak dan gas bumi dengan kedalaman tertentu dan arah yang sudah ditentukan. Proses pemboran dilakukan menggunakan sekumpulan peralatan yang berada dalam satu unit rig pemboran. Rig pemboran digunakan selama proses pemboran berlangsung, di dalam dunia perminyakan rig dibagi menjadi dua jenis yaitu rig *onshore* yang berada didaratan dan rig *offshore* yang berada diperairan seperti sungai, rawa hingga ketengah lautan. Berikut contoh gambaran rig *onshore* dan rig *offshore* (Amin, 2014a):



Gambar 2.1 Rig *Onshore* dan rig *Offshore*

#### 2.2 Peralatan Pemboran

Pada rig pemboran terdapat peralatan – peralatan yang digunakan selama proses pemboran berlangsung, peralatan tersebut dibagi menjadi dua jenis yaitu

peralatan yang digunakan pada permukaan dan peralatan yang digunakan di dalam sumur pemboran. Peralatan permukaan dikenal sebagai lima sistem pemboran.

### **2.2.1 Lima Sistem Pemboran**

Sistem pemboran dibagi menjadi lima yang memiliki fungsi dan kegunaan masing – masing selama proses pemboran berlangsung. Lima sistem pemboran tersebut yaitu (Amin, 2014a):

#### **2.2.1.1 Sistem Pengangkatan**

Sistem pengangkatan merupakan salah satu komponen peralatan pemboran, yang berfungsi untuk memberikan ruang kerja yang cukup untuk pengangkatan dan penurunan *drill string* dan *casing* kedalam lubang bor selama operasi pemboran berlangsung (Rabia, n.d.).

Sistem pengangkatan memegang peranan penting mengingat bahwa sistem ini adalah sistem yang mendapat atau mengalami beban yang paling besar, baik beban secara vertikal maupun beban horizontal. Beban vertikal berasal dari beban menara, *drillstring* (*drill pipe* dan *drill collar*), *casing string*, tegangan *dead line*, tegangan dari *fast line* serta tegangan dari *block-block*. Sedangkan beban horizontal berasal dari tiupan angin serta *drill pipe* yang disandarkan pada menara. Beban yang disebabkan oleh tiupan angin ini sangat mempengaruhi beban sistem pengangkatan pada saat pemboran berlangsung dilepas pantai seperti dilapangan laut utara dimana kecepatan angin sangat besar sekali.

Sistem pengangkatan ini terdiri dari dua sub komponen utama, yaitu struktur penyangga (*supporting structure*) yang dikenal dengan nama “rig” dan peralatan pengangkatan .

- a. Struktur Penyangga adalah konstruksi menara kerangka baja yang ditempatkan diatas titik bor, berfungsi untuk menyangga peralatan pemboran. Struktur penyangga terdiri dari *substructure*, lantai bor (floor) dan menara pemboran (*drilling tower*) yang ditempatkan diatas struktur dan lantai bor (Mitchel, 1995).

- a.) *Substructure* adalah konstruksi kerangka baja sebagai *platform* yang dipasang langsung diatas titik bor. *Substructure* memberikan ruang kerja bagi peralatan dan pekerja diatas dan dibawah lantai bor. Tinggi *substructure* ditentukan oleh jenis rig dan ketinggian *blow out preventer stock*. *Substructure* mampu menahan beban yang sangat besar yang ditimbulkan oleh *derrick* atau *mast*, peralatan pengangkatan meja putar, rangkaian pipa bor (*drill pipe, drill collar* dan sebagainya) dan beban *casing*.



Gambar 2.2 *Substructure*

- b.) Lantai bor merupakan bagian penting dalam perhitungan kedalaman sumur, karena titik nol pemboran dimulai dari lantai bor. Lantai bor berada diatas substructure dan berfungsi untuk menampung peralatan-peralatan pemboran yang berukuran kecil, tempat berdirinya menara, letak alat drawwork, tempat *driller* dan *rotary helper (roughneck)*. Susunan lantai bor terdiri dari rotary table yang berfungsi untuk memutar rangkaian pipa bor, rotary drive berfungsi untuk meneruskan daya dari *Drawwork* ke meja putar, *drillers console* yang berfungsi

sebagai pusat instrumentasi dari *rotary drilling rig*, *make-up* dan *break-out tongs* yaitu peralatan pengunci besar yang digunakan untuk menyambung atau melepas bagian-bagian dari rangkaian pipa bor, *mouse hole* yaitu lubang dekat meja putar pada lantai bor, dimana *drill pipe* ditempatkan pada saat dilakukan penyambungan dengan *kelly* dan rangkaian pipa bor, *pipe ramp* merupakan jembatan penghubung antara *catwalk* dengan *rig floor*, berfungsi sebagai lintasan pipa bor yang ditarik ke lantai bor, *cat walk* merupakan jembatan penghubung antara *pipe rack* dengan *pipe ram*, berfungsi untuk menyiapkan pipa yang akan ditarik ke lantai bor lewat *pipe ramp* (Mitchel, 1995).

- c.) Menara Pemboran berfungsi untuk mendapatkan ruang vertikal yang cukup untuk menaikkan dan menurunkan rangkaian pipa bor dan casing ke dalam lubang bor selama operasi pemboran berlangsung.

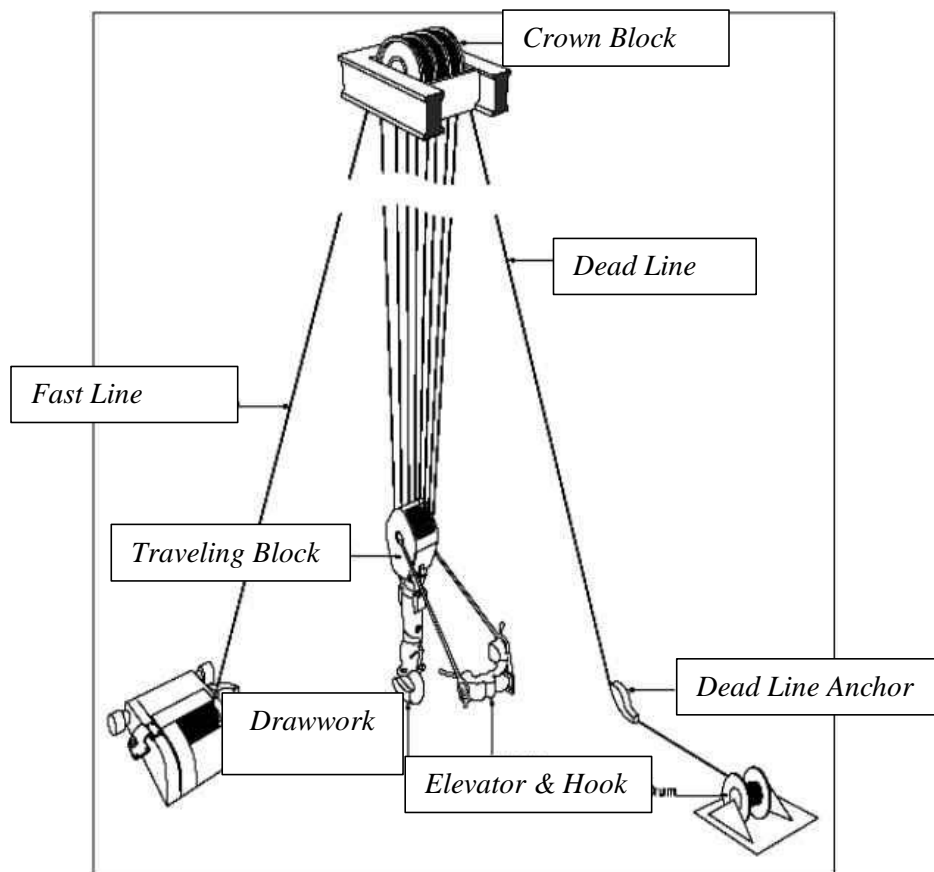
b. Peralatan Pengangkatan :

- a.) *Drawwork* merupakan otak dari suatu unit pemboran, karena melalui *drawwork* ini seorang *driller* dapat melakukan dan mengatur operasi pemboran, sebenarnya *drawwork* merupakan suatu sistem transmisi yang kompleks. Sebagai gambaran adalah seperti sistem transmisi pada mobil (*gear bock*). *Drawwork* akan berputar bila dihubungkan dengan *prime mover* (mesin penggerak). *Drawwork* terletak di belakang *derrick* atau juga berada di dekat meja putar. Konstruksi *drawwork* tergantung dari beban yang harus dilayani, biasanya didesain dengan *horse power* (hp) dan kedalaman pemboran, dimana kedalaman disini harus disesuaikan dengan ukuran *drill pipenya*. Fungsi utama *drawwork* adalah untuk meneruskan tenaga dari *prime mover* (*power system*) ke rangkaian pipa bor selama operasi pemboran berlangsung, meneruskan tenaga dari *prime mover* ke *rotary drive*, meneruskan tenaga dari *prime mover* ke *catheads* untuk menyambung atau melepas bagian-bagian rangkaian pipa bor (Bourgoyne Jr et al., 1986).



Gambar 2.3 Drawwork

- b.) *Overhead tools* merupakan serangkaian peralatan yang menunjang operasi pemboran. *Overhead tools* terdiri dari *crown block*, *traveling block*, *hook*, dan *elevator*.



Gambar 2.4 Overhead Tools

### 2.2.1.2 Sistem Tenaga

Sistem tenaga pada operasi pemboran terdiri dari dua sub-komponen utama, yaitu (Rabia, n.d.):

- a. *Power Supply Equipment*, yang dihasilkan oleh mesin-mesin besar yang dikenal sebagai “*Prime Mover*” (penggerak utama).
- b. *Distribution Equipment (transmission)*, meneruskan tenaga yang diperlukan untuk operasi pemboran.

Sistem transmisi dapat dikerjakan dengan salah satu dari sistem, yaitu sistem transmisi mekanis atau sistem transmisi listrik. *Prime Mover Unit* hampir semua rig menggunakan “*Internal Combustion Engines*”. Penggunaan jenis dan jumlah mesin ini ditentukan oleh besarnya tenaga yang diperlukan untuk mengebor sumur yang didasarkan pada *casing program* dan keadaan sumur. Tenaga yang dihasilkan sebuah *prime mover* berkisar antara 500 sampai 5000 hp. Jumlah unit mesin yang diperlukan.

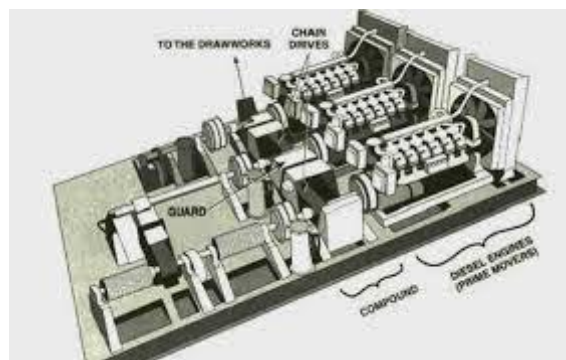


Gambar 2.5 *Prime Mover*

Fungsi utama dari *prime mover unit* adalah untuk mendukung seluruh sistem lainnya dengan menyediakan suatu sumber tenaga yang diperlukan dalam operasi pemboran modern. Letak *prime mover* tergantung pada sistem transmisi yang digunakan dan ketersediaan ruang, umumnya *prime mover* terletak di bawah rig, di atas lantai bor, di samping atau di sisi rig, baik di atas tanah maupun di atas lantai bor pada struktur yang terpisah, dan terletak jauh dari rig . Tenaga yang

dihasilkan oleh suatu *Prime Mover* harus disalurkan kebagian-bagian pekerjaan utama dari sistem pemboran. Transmisi tenaga ini dilakukan melalui salah satu dari dua cara yang ada, yaitu (Bourgoyne Jr et al., 1986):

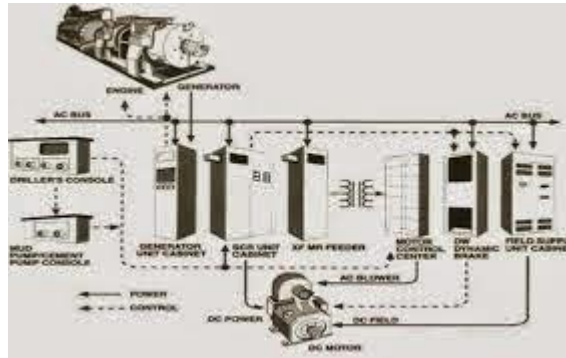
- a. *Mechanical Power Transmission* berarti tenaga yang dihasilkan oleh mesin mesin harus diteruskan secara mekanis. Sistem ini berfungsi sebagai penghubung untuk menghubungkan tenaga yang berasal dari *prime mover* ke peralatan – peralatan atau mesin – mesin yang ada di rig. Tenaga yang dihasilkan oleh *prime mover* harus dihubungkan bersama-sama dengan mesin-mesin yang lain untuk mendapatkan tenaga yang mencukupi. Hal ini dilakukan dengan *Hydraulic Coupling (Torque Converters)*, yang dihubungkan bersama-sama. Tenaga ini kemudian diteruskan melalui *elaborate sprocket dan chain linking system* (sistem rantai), yang secara fisik mendistribusikan tenaga ke unit-unit yang memerlukan tenaga. Sistem ini sekarang banyak digantikan dengan tenaga listrik.



Gambar 2.6 *Mechanical Power Transmission*

- b. *Electrical Power Transmission* Sebagian besar drilling rig sekarang telah menggunakan sistem transmisi tenaga listrik yang harus dialirkan melalui kabel. Pada sistem ini mesin diesel memberikan tenaga mekanik dan diubah menjadi listrik oleh generator listrik, yang dipasang didepan block. Generator menghasilkan arus listrik, yang dialirkan melalui kabel ke suatu “*Control Unit*”. Dari *control unit*, tenaga listrik diteruskan melalui kabel tambahan ke motor listrik yang langsung dihubungkan ke sistem peralatan

yang lain, seperti sistem angkat, *rotary*, sirkulasi, penerangan, dan lain-lain. Beberapa keuntungan penggunaan *electric power transmission* adalah lebih fleksibel letaknya dan tidak memerlukan rantai penghubung. Umumnya lebih kompak dan *portable*, dan lebih mudah dikontrol.



Gambar 2.7 Sistem Transmisi Elektrik

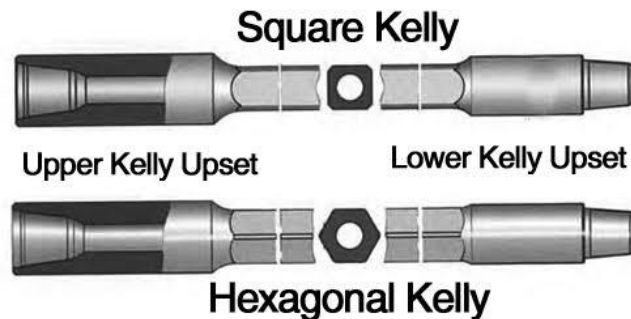
Berfungsi untuk mentransmisikan tenaga yang dihasilkan oleh *prime mover* ke seluruh peralatan pemboran melalui kabel (elektrik). Alternator memproduksi AC power yang dikirimkan melalui kabel ke *electric switch-and-control gear*. Dari sini, sebagian besar degenerated menjadi DC dan dikirimkan melalui kabel ke *electric motor* yang terpasang langsung pada peralatan bersangkutan.

### 2.2.1.3 Sistem Putar

Sistem perputaran adalah sistem yang digunakan untuk memutar rangkaian pipa bor sehingga mata bor yang terpasang pada rangkaian pipa bor data berputar dan menggerus lapisan formasi. Sistem putar yang dapat digunakan pada rig pemboran adalah sistem *kelly* maupun sistem *top drive*. Sistem putar juga berfungsi untuk melakukan kegiatan menyambung dan melepaskan rangkaian pipa bor atau disebut *break out* dan *make connection* (Amin, 2014b).

- a. Sistem putar *kelly* adalah batang pipa yang berbentuk segi empat ataupun segi enam yang memiliki jalur lumpur pemboran di dalamnya. *Kelly*

digunakan untuk meneruskan putaran dari *kelly bushing* yang diputar oleh meja putar untuk memutar rangkaian pipa bor. Saat proses pemboran *kelly* dapat naik dan turun melewati *kelly bushing* yang berputar.



Gambar 2.8 *kelly*

a.) *Kelly bushing*

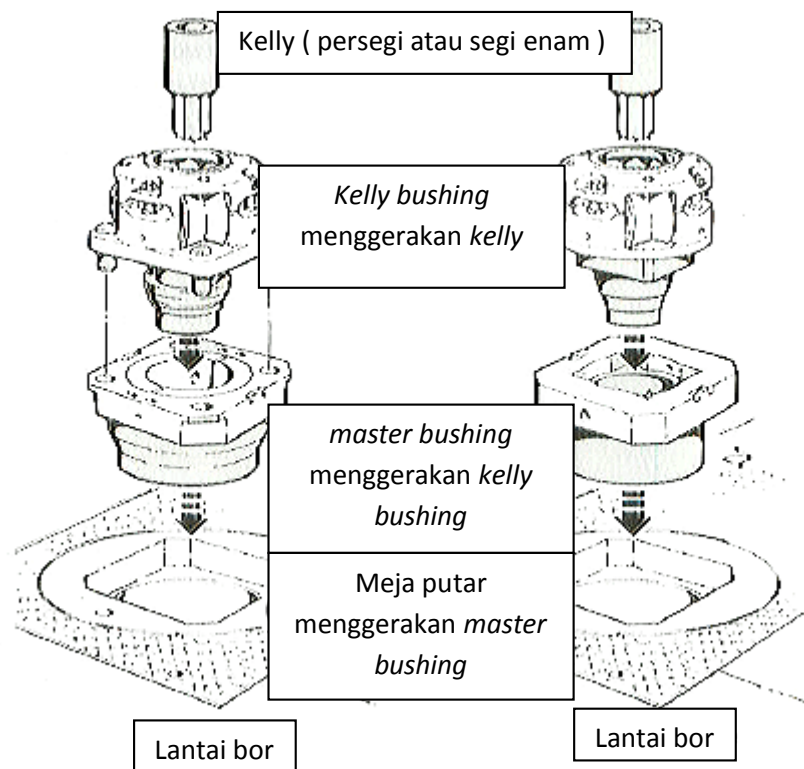
*Kelly bushing* komponen pada sistem *kelly* yang berfungsi sebagai penerus tenaga putar dari meja putar ke rangkaian pipa bor selama operasi pemboran berlangsung.

b.) *Master bushing*

*Master bushing* termasuk kedalam bagian dari meja putar yang berfungsi sebagaiudukan *kelly bushing* ataupun *rotary slip*.

c.) Meja putar

Meja putar adalah alat yang memutar *kelly bushing* dan *kelly* yang akan meneruskan putaran kepada pipa bor. meja putar beroperasi dengan menerima tenaga putar dari *drawwork* yang digunakan untuk memutar sistem *kelly*.



Gambar 2.9 Rotary Assemby

- b. *Top drive* adalah bentuk modern dari sistem perputaran di dalam melakukan proses pemboran menggantikan peran *kelly* dan meja putar. *Top drive* berfungsi sebagai pemberi putaran kepada rangkaian pipa bor untuk memutar mata bor, selain memberikan putaran pada rangkaian pipa bor *top drive* juga dapat melakukan menyambungkan dan melepaskan pipa bor maupun memasukan dan mencabut pipa dari lubang bor. *Top drive* merupakan peralatan pemboran yang digantung pada *traveling block* dan terpasang pada *guide beam* yang terpasang pada menara pemboran. Keunggulan *top drive* yaitu waktu penyambungan pipa lebih cepat karena proses penyambungan pipa bor dilakukan pada satu *stand* (3 *joint*) bukan per satu *joint* seperti pada sistem *kelly*. *Top drive* juga dapat melakukan pencabutan pipa bor dari dalam sumur sambil memutar rangkaian pipa bor

agar resiko pipa tersangkut pada lubang bor dapat berkurang (Tammara, 2018).



Gambar 2.10 *Top drive*

#### **2.2.1.4 Sistem Sirkulasi**

Sirkulasi sangat erat kaitannya dengan fluida pemboran (*drilling fluids*) yang fungsi utamanya adalah mengangkat material pahatan (*cutting*) hasil dari mata bor (*drill bit*) dari dasar sumur ke atas permukaan melalui *annulus*, selain itu fluida pemboran juga berfungsi untuk menjaga keseimbangan antara tekanan hidrostatik (*hydrostatic pressure*) dengan tekanan formasi agar fluida reservoir tidak masuk kedalam lubang bor selama kegiatan pemboran. Sistem sirkulasi terdiri dari empat sub-komponen utama, yaitu fluida pemboran, tempat persiapan, peralatan sirkulasi, dan *conditioning area* (Grace et al., n.d.).

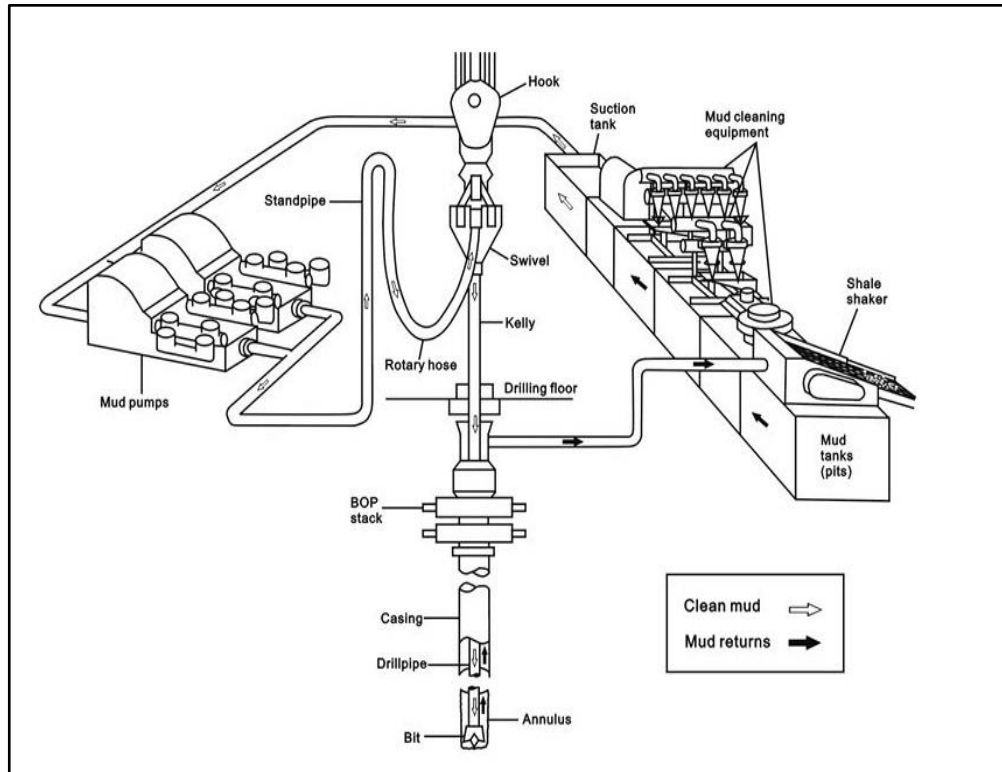
- a. Fluida Pemboran merupakan suatu campuran cairan dari beberapa komponen yang dapat terdiri dari air (tawar atau asin), minyak, tanah liat (*clay*), bahan-bahan kimia, gas, udara, busa maupun detergent. Di lapangan fluida dikenal sebagai "lumpur" (*mud*). Lumpur pemboran merupakan faktor yang penting serta sangat menentukan dalam

mendukung kesuksesan suatu operasi pemboran. Kecepatan pemboran, efisiensi, keselamatan dan biaya pemboran sangat tergantung pada kinerja lumpur pemboran. Fungsi lumpur dalam suatu operasi pemboran antara lain adalah mengangkat *cutting* ke permukaan, mendinginkan dan melumasi *bit* dan *drill string*, memberi dinding lubang bor dengan *mud cake*, mengontrol tekanan formasi, membawa *cutting* dan material-material pemberat pada suspensi bila sirkulasi lumpur dihentikan sementara, memberikan *hydraulic horse power* pada *bit* untuk membersihkan serbuk bor (*cutting*) dari dasar lubang bor dan melepaskan pasir dan *cutting* dipermukaan, menahan sebagian berat *drill pipe* dan *cutting* (*bouyancy effect*), endapatkan informasi (*mud log*, *sampel log*).

- b. Tempat persiapan lumpur terletak pada tempat dimulainya sistem sirkulasi. Tempat persiapan lumpur pemboran terdiri dari peralatan-peralatan yang diatur untuk memberikan fasilitas persiapan atau “*treatment*” lumpur bor. Tempat persiapan ini meliputi *mud house*, *steel mud pits/tanks*, *mixing hopper*, *chemical mixing barrel*, *bulk mud storage bins*, *water tank*, dan *reserve pits*. Penjelasan sebagai berikut :
  - a) *Mud house* Merupakan gudang untuk menyimpan *additives*.
  - b) *Steel mud pits/tanks* merupakan bak penampung lumpur di permukaan yang terbuat dari baja.
  - c) *Mixing hopper* adalah peralatan yang bentuknya menyerupai corong. Melalui corong ini, *additives* padat ditambahkan ke dalam zat cair pengeboran pada waktu perawatan di dalam kolam lumpur. kemudian lumpur yang sudah dicampur *additive* ini digunakan untuk disirkulasikan. *Mixing Hopper* terletak di dekat rig.
  - d) *Chemical mixing barrel* Merupakan peralatan untuk menambahkan bahan-bahan kimia (*Chemicals*) ke dalam lumpur
  - e) *Bulk mud storage bins* merupakan *bin* yang berukuran besar digunakan untuk menambah *additives* dalam jumlah banyak.
  - f) *Water tank* merupakan tangki penyimpanan air yang digunakan pada tempat persiapan lumpur dan persiapan kegiatan pemboran. *Water tank*

umumnya terletak di samping rig, bisa juga ditempat lain tergantung kondisi lapangan.

- g) Reserve Pit merupakan kolam yang besar digunakan untuk menyimpan kelebihan lumpur.



Gambar 2.11 Sistem Sirkulasi

- c. Peralatan sirkulasi merupakan komponen utama dalam sistem sirkulasi. Peralatan ini mengalirkan lumpur pemboran dari peralatan sirkulasi, turun ke rangkaian pipa bor dan naik ke annulus mengangkat serbuk bor ke permukaan menuju conditioning area sebelum kembali ke mud pits untuk sirkulasi kembali. Peralatan ini ditempatkan pada tempat yang strategis disekitar rig. Peralatan sirkulasi terdiri dari beberapa komponen khusus, yaitu *mud pit*, *mud pump*, *pump discharge and return line*, *stand pipe*, *rotary hose*, *special pumps and agigators*, *steel mud pits/tank*, dan *reserve pit*.

- d. *Conditioning area* Ditempatkan di dekat rig. Area ini terdiri dari peralatan-peralatan khusus yang digunakan untuk “*Clean up*” (pembersihan) lumpur bor setelah keluar dari lubang bor. Fungsi utama peralatan-peralatan ini adalah untuk membersihkan lumpur bor dari serbuk bor (*cutting*) dan gas-gas yang terikut. Dua metode pokok untuk memisahkan *cutting* dan gas dari dalam lumpur bor, yaitu :
- a) Menggunakan prinsip gravitasi, dimana lumpur dialirkan melalui *shale shaker* dan *settling tanks*
  - b) Secara mekanik, dimana peralatan-peralatan khusus yang dipasang pada mud pits dapat memisahkan lumpur dan gas.

Peralatan-peralatan *conditioning area* antara lain *settling tanks*, *mud-gas separator*, *shale shaker*, *degasser*, *desander*, dan *desilter*.

#### **2.2.1.5 Sistem Blow Out Preventer**

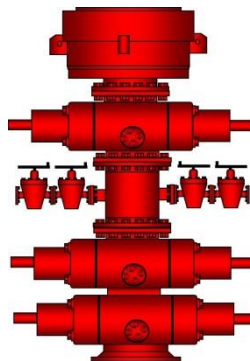
*Blowout preventer system* (BOP) adalah peralatan yang diletakkan tepat di atas permukaan sumur untuk mengatasi apabila dalam pemboran tiba-tiba terjadi aliran dari formasi yang terlihat dengan adanya penambahan volume lumpur ditangki atau dilihat langsung dengan adanya semburan dari dalam lubang bor (*kick*) (Weatherford, 2002).

Jumlah dan kekuatan BOP yang digunakan tergantung dari kedalaman sumur yang akan dibor sertaantisipasi maksimum terhadap tekanan reservoir yang akan dibor. Kapasitas dan susunan suatu rangkaian BOP, dapat mengacu pada petunjuk MASP (*Maximum Anticipated Surface Pressure*). sistem pencegah semburan liar secara umum terdapat dua type BOP, yaitu:

- a. *Annular preventer* dapat menutup lubang *annulus* pada saat ada rangkaian pipa bor maupun dalam keadaan kosong. *Annular* BOP didesain untuk menutup sekeliling lubang sumur dengan berbagai jenis ukuran dan bentuk peralatan yang sedang diturunkan kedalam lubang bor. Sehingga

annular BOP ini dapat menutup annulus disekitar *drillpipe*, *drillcollar*, dan *casing*. Juga dapat mengisolasi sumur dalam kondisi *open hole*.

- b. *Ram preventer* dapat dibagi menjadi empat type *ram*, yaitu :
  - a.) *Pipe rams* berfungsi menutup lubang bor disaat rangkaian bor berada di lubang bor. *Pipe ram* didesain untuk menutup *annulus* disekeliling peralatan-peralatan yang berupa *drillpipe*, *tubing* atau *casing*. penutup ini berupa dua *block ram* baja yang berbentuk *semi-circular*, yang dilengkapi dengan dua pasang karet isolasi. *Ram* ini dapat menutup disekeliling *drillpipe*, *tubing*, *drill collar*, *kelly* atau *casing* tergantung dari ukuran *ram* yang dipilih.
  - b.) *Variable-bore ram* (VBR) pada operasi pemboran normal BOP *ram* harus diganti setiap perubahan *drillpipe* atau *casing* yang digunakan. Fungsi VBR ini hampir sama dengan jenis *pipe ram*.
  - c.) *Blind ram* berfungsi menutup lubang bor disaat rangkaian bor tidak berada di lubang bor. *Blind ram* hampir mirip dengan *pipe ram*, kecuali *packer* diganti dengan *packer* tanpa *cutouts* (lengkungan pipa). *Ram* ini didesain untuk menutup dan mengisolasi lubang bor pada saat *drill string* atau *casing* tidak berada dalam lubang pemboran.
  - d.) *Shear ram* adalah *blind ram* yang dapat memotong pipa dan mngisolasikan lubang dalam kondisi *openhole*. Penggunaan *shear ram* sangat diperhitungkan dan merupakan tahap terkahir dipakai. Jika *pipe ram* dan *blind ram* tidak dapat mengatasi semburan maka tahap terakhir yang akan digunakan adalah menggunakan *shear ram*.



Gambar 2.12 BOP System

## **2.3 Permasalahan Pemboran**

Selama proses pemboran berlangsung pasti akan sering menghadapi keadaan dimana tekanan formasi lebih besar dari tekanan hidrostatik lumpur pemboran yang digunakan sehingga fluida formasi dapat masuk dan menyebabkan permasalahan dalam proses pemboran, selama fluida formasi lebih besar dari tekanan hidrostatik di dalam sumur maka proses pemboran tak pernah lepas dari berbagai permasalahan dan harus dihadapi, masalah – masalah yang biasa terjadi pada saat proses pemboran yaitu (Craft and Hawkins, 1990):

### **2.3.1 Kick**

*kick* adalah keadaan dimana fluida formasi masuk kedalam lubang sumur, keadaan ini disebabkan oleh lumpur pemboran yang digunakan sudah tidak mampu menahan tekanan dari formasi atau dapat disebut sebagai keadaan *underbalance*. Penyebab *kick* yang paling sering terjadi yaitu hilangnya lumpur pemboran kedalam formasi sehingga terjadi penurunan tekanan hidrostatik didalam sumur, menembus zona abnormal dan pada saat melakukan proses mencabut rangkaian pipa yang terlalu cepat sehingga menghisap fluida formasi masuk kedalam lubang sumur. *Kick* berbentuk fluida yang berasal dari formasi, *kick* yang tidak segera ditangani akan menyebabkan *blowout*. *kick* dapat dilihat dari laju aliran lumpur yang kembali dari lubang sumur, jika lumpur yang kembali ke permukaan lebih laju daripada lumpur yang dipompakan kedalam sumur maka dapat dipastikan bahwa fluida formasi sudah masuk kedalam sumur.

### **2.3.2 Blowout**

*Blowout* adalah keadaan dimana *kick* atau fluida formasi sudah tidak dapat dikendalikan lagi sehingga fluida formasi keluar dari lubang sumur yang dibor keadaan ini disebut sebagai *surface blowout*, sedangkan ada keadaan dimana fluida formasi yang tidak terkendali merembes ke permukaan lain diluar lubang sumur atau disebut *underground blowout* (Craft and Hawkins, 1990).

## **2.4 Well Control**

*Well control* atau disebut pengendalian sumur dilakukan pada saat fluida formasi (*kick*) masuk kedalam lubang bor, jika pengendalian sumur terlambat maka sumur akan menjadi tidak terkendali dan akan menyebabkan *blowout*. *Well control* dapat dilakukan dengan menggunakan metode *driller* dan metode *wait and weight* (Grace et al., n.d.).

#### **2.4.1 Driller Method**

Pada *driller method* dilakukan 2 kali sirkulasi lumpur pemboran berikut langkah – langkahnya(Adams and Charrier, 1985):

- a. Sirkulasi pertama dilakukan untuk mengeluarkan fluida formasi (*kick*) yang masuk ke dalam lubang sumur dengan cara memompa lumpur pemboran hingga fluida formasi (*kick*) tersebut dapat dikeluarkan dari dalam sumur melalui *choke manifold*.
- b. Sirkulasi kedua dilakukan setelah fluida formasi dikeluarkan dari dalam lubang sumur dengan cara memompakan lumpur yang lebih berat (*kill mud weight*) kedalam sumur hingga mengisi kolom *annulus*, setelah itu proses pemboran dilanjutkan.

#### **2.4.2 Wait and Weight Method**

Metode ini menggabungkan dua sirkulasi pada *driller method*, sirkulasi pada metode *wait and weight* dilakukan dengan cara mensirkulasikan lumpur lama yang sudah terkontaminasi fluida formasi sambil memompakan lumpur baru dengan densitas yang lebih berat hingga fluida formasi keluar dari dalam lubang sumur dan lumpur yang lebih berat mengisi seluruh *annulus* lubang sumur. Setelah itu proses pemboran dilanjutkan.

### **2.5 Rumus Perhitungan Driller Method**

Dalam *well control* menggunakan *driller method* yaitu dengan cara dua kali sirkulasi dengan rumus perhitungan sebagai berikut (Grace et al., n.d.):

- a. *Initiall Circulating Pressure* (ICP), psi (Persamaan 2.1)

$$ICP = SDIPP + SCR$$

Keterangan :

SDIPP : *Shut In Drill Pipe Pressure*, psi

SCR : *Slow Circulating Rate pressure*, psi

- b. *Kill Mud Weight* (KMW), ppg (Persamaan 2.2)

$$KMW = MW + \frac{SIDPP}{(TVD \times 0.052)}$$

Keterangan :

MW : *Mud Weight*, ppg

SIDPP : *Shut In Drill Pipe Pressure*, psi

TVD : *True Vertical Depth*, ft

0.052 : Bilangan Konversi

- c. *Final Circulating Pressure* (FCP), psi (Persamaan 2.3)

$$FCP = SCR \times \frac{KMW}{MW}$$

Keterangan :

SCR : *Slow Circulating Rate pressure*, psi

KMW : *Kill Mud Weight*, ppg

MW : *Mud Weight*, ppg

- d. *Drill String Volume*, bbl (Persamaan 2.4)

$$Drillstring\ Volume = \frac{ID\ Drillstring^2}{1029.4} \times TVD\ Drill\ String$$

Keterangan (Lapeyrouse, 2002):

ID Drillstring<sup>2</sup> : *Inside Diameter drill string*, in

TVD : *True Vertical Depth*, ft

1029.4 : Bilangan konversi untuk *barrel*

- e. *Volume Open Hole ke Drill Pipe*, bbl (Persamaan 2.5)

$$OH - DP = \frac{(D \text{ open hole}^2 - OD \text{ drill pipe}^2)}{1029.4} \times TVD \text{ OH} - DP$$

Keterangan :

OH – DP : Volume *open hole* ke *drill pipe*, bbl

D *Open Hole* : Diameter *Open Hole*, inci

OD *Drill Pipe* : Diameter luar *drill pipe*, inci

TVD OH – DP : Kedalaman pada *open hole* ke *drill pipe*, ft

1029.4 : bilangan konversi untuk *barrel*

- f. *Volume Open Hole* ke *Drill Collar*, bbl (Persamaan 2.6)

$$OH - DC = \frac{(D \text{ open hole}^2 - OD \text{ drill collar}^2)}{1029.4} \times TVD \text{ OH} - DC$$

Keterangan :

OH – DC : Volume *open hole* ke *drill collar*, bbl

D *Open Hole* : Diameter *Open Hole*, inci

OD *Drill Collar* : Diameter luar *drill collar*, inci

TVD OH – DC : Kedalaman pada *open hole* ke *drill collar*, ft

1029.4 : bilangan konversi untuk *barrel*

- g. *Volume Cased Hole* ke *Drill Pipe*, bbl (Persamaan 2.7)

$$CH - DP = \frac{(ID \text{ casing}^2 - OD \text{ drill pipe}^2)}{1029.4} \times TVD \text{ CH} - DP$$

Keterangan (Lapeyrouse, 2002):

CH – DP : *Volume Casing* ke *Drill Pipe*, bbl

ID *Casing* : Diameter dalam *casing*, inci

OD *Drill Pipe* : Diameter luar dari *drill pipe*, inci

TVD CH – DP : Kedalaman dari *casing* ke *drill pipe*, ft

1029.4 : bilangan konversi untuk *barrel*

- h. *Pump Stroke*, stk (Persamaan 2.8)

$$Pump \ Stroke = \frac{Volume}{Pump \ Output}$$

Keterangan :

*Volume* : *Drillstring, Open Hole dan Casing*, bbl

*Pump Output* : Keluaran Pompa, bbl/stk

- i. Waktu Pemompaan, Menit (Persamaan 2.9)

$$PT = \frac{\text{Pump Stroke}}{SCR}$$

Keterangan :

*PT* : *Pumping Time*, menit

*Pump Strokes* : Strok pompa, stk

*SCR* : *Slow Circulating Rate, stroke per minutes* (spm)

