

Analisa dan Optimasi Perencanaan Pengeboran Berarah Pada Sumur *Re-Entry* Menggunakan HWU-600K : Studi Kasus Sumur X-12 Lapangan UP PT Saka Energi Indonesia

Fadhel Hizbullah Sayendra⁽¹⁾, Ganesha Rinku Darmawan⁽²⁾

⁽¹⁾Program Studi Teknik Perminyakan ITS.

⁽²⁾Program Studi Teknik Perminyakan ITS.

Abstrak

Sumur X-12 telah selesai dibor pada tahun 2016 dengan mencapai TD pada kedalaman 12.000 ftMD dan menembus formasi reservoir A, B, dan C. Pada tahun 2016, lapisan B dan C dianggap dan dinyatakan sebagai lapisan yang tidak ekonomis sehingga ditutup dengan 3 Cement Plugs. 7 tahun kemudian, yaitu pada tahun 2023, tim sub-surface memutuskan untuk melakukan test dan berproduksi dari formasi B dan C. Workover atau kerja ulang dilakukan untuk menembus 3 Cement Plugs pada lapisan B dan C dengan menggunakan HWU-600K. Dilakukan pemilihan BHA, analisis kapabilitas dari HWU-600K untuk melakukan kegiatan pengeboran, analisis simulasi pengeboran; hidrolika, dan torque & drag simulasi, serta analisis ekonomian penggunaan HWU-600K dibandingkan dengan Jack-up Rig. Sumur X-12 merupakan sumur berarah tipe S, dan pemilihan BHA disesuaikan dengan profil sumur, tricone bit, mud motor, ontrak integrated mwd dan lwd, hydro-mechanical jar dan hwdp, lalu dilakukan analisis kapabilitas HWU-600K dan dapat di highlight bahwa maksimum torque limit hanya sebesar 24.000 ft-lbs menggunakan power swivel. Sehingga dibutuhkan optimasi agar pengeboran tidak membutuhkan nilai torque yang lebih besar dari limit HWU-600K, digunakan Drill String Torque Reducer dan dapat mengurangi nilai torque sebesar 14% sehingga tidak lewat dari limit HWU-600K. Setelah analisis dilakukan dan didapatkan kesimpulan bahwa HWU-600K dapat digunakan untuk pengeboran berarah pada sumur X-12, dilakukan analisa terhadap keekonomian HWU-600K dibandingkan dengan Jack-up Rig yang biasa digunakan untuk kegiatan pengeboran pada lapangan UP. Didapatkan hasil bahwa penggunaan HWU-600K dapat menghemat sekitar 85.511 dolar, selain itu, untuk mobilisasi menuju platform, Jack-up Rig membutuhkan biaya untuk pengerukan atau dredging dan biaya yang dibutuhkan untuk dredging mencapai 20 juta dolar. Penggunaan HWU untuk kegiatan pengeboran diharapkan dapat menjadi terobosan baru di Indonesia, karena dapat menghemat biaya namun membutuhkan studi simulasi dan optimasi.

Kata-kunci : HWU, *Directional Drilling*, *Jack-up Rig*, *Workover*

I. Pendahuluan

Peningkatan produksi minyak dan gas bumi di Indonesia saat ini sangat gencar dilakukan, hal ini dibuktikan dengan program 1 juta barel minyak per hari (BOPD) dan 12 miliar gas standar kaki kubik per hari (MMSCFD) di tahun 2030 yang dicanangkan oleh Pemerintahan Indonesia. Sehingga target perolehan minyak dan gas bumi

di Indonesia menunjukkan peningkatan setiap tahunnya, hal ini mendorong perusahaan untuk melakukan eksplorasi dan optimisasi produksi pada reservoir yang sebelumnya tidak menarik untuk diproduksi atau low quality reservoir dan atau reservoir pada sumur yang telah di plug pada beberapa tahun sebelumnya karena memiliki produksi yang kecil atau tidak ekonomis. Sumur yang telah di plug sebelumnya akan

diproduksi kembali dengan cara mengebor cement plug yang telah terpasang lalu diperforasi interval reservoir baru dan recompletion. Keadaan ini kemudian memberikan tantangan baru pada desain dan operasi pengeboran sumur tersebut. Penelitian dilakukan pada sumur offshore UPB-12, lapangan Y, Jawa Timur. Sumur ini telah selesai dibor pada tahun 2016 dan mencapai Total Depth pada kedalaman 12.000 ftMD, 9.500 ftTVD dan menembus zona reservoir A pada bagian atas, B dan C di bagian bawah. Namun, berdasarkan laporan geologi dari tim sub-surface, formasi C dan C dinyatakan sebagai zona reservoir yang tidak ekonomis, sehingga dilakukan sumbat sumur (plug) dengan semen untuk mengisolasi zona reservoir B dan C serta melanjutkan produksi pada zona reservoir lapisan A. Pada tahun 2023, sesuai dengan adanya arahan peningkatan target produksi dari Pemerintah Indonesia, sumur UPB-12 akan dilakukan kegiatan operasi untuk meningkatkan produksi dengan memproduksi kembali zona B dan C yang sebelumnya dipasang sumat semen, hal ini dilakukan dengan cara mengebor bagian cement plug dan EZSV yang ditinggalkan dan dilakukan juga kegiatan optimisasi produksi seperti Hydraulic Fracturing dan Acidizing pada zona reservoir tersebut. Semua kegiatan workover pada sumur UPB-12 akan dilakukan dengan Hydraulic Workover Unit (HWU) 600k. Dalam melakukan operasi pengeboran di suatu sumur, adapun banyak hal yang harus dilihat dan diperhatikan sebab sumur yang telah di plug dan ditinggalkan akan memiliki beberapa kondisi yang tidak diketahui sebelumnya, seperti kondisi stuck pada rangkaian completion saat diangkat, hal ini akan memakan waktu yang cukup banyak karena harus dilakukan kegiatan fishing hingga rangkaian completion dapat diangkat. Dengan keadaan rangkaian completion yang telah diangkat akan menimbulkan bahaya bagi lingkungan pekerjaan dan perlu perhatian khusus mengingat kondisi sumur memiliki kandungan gas berbahaya seperti karbon dioksida (CO₂) sebesar 1%, maka saat rangkaian completion telah diangkat, dilakukan squeeze cementing di interval perforasi. Dan guna mengoptimasi produksi hidrokarbon, akan dilakukan beberapa operasi penunjang seperti perforasi pada beberapa interval baru, hydraulic fracturing dan kegiatan acidizing dengan menggunakan coiled tubing. Dengan operasi menggunakan Hydraulic

Workover Unit (HWU) 600K yang pertama dilakukan di Indonesia. Dengan demikian, diperlukan desain operasi dan recompletion yang tepat dan matang agar dapat memenuhi target operasional yang aman dan dihindari dari kecelakaan atau insiden dan dampak untuk lingkungan sekitar serta mengoptimalkan produksi dan umur dari sumur tersebut. Dalam tugas akhir ini akan dipaparkan program workover dan metode drilling pada zona sumbat semen (cement plug). Desain konseptual termasuk pembahasan tentang pemilihan bottom hole assembly (BHA), simulasi pengeboran dari segi beban drag dan beban torsi, pemboran berarah menggunakan metode measurement while drilling (MWD) serta alat dan komponen yang akan digunakan pada Hydraulic Workover Unit (HWU) 600K dalam operasi pengeboran. Perhitungan mengenai kegiatan tersebut, perhitungan keekonomian yang optimum dan memenuhi kaidah Health Safety Environment (HSE)

II. KAJIAN PUSTAKA

Sumur X-12 merupakan sumur yang ada di lapangan UP, lapangan penghasil minyak dan gas yang terletak di bagian laut dari provinsi Jawa Timur. Formasi dari lapangan UP merupakan reservoir carbonate dan reservoir sandstone. Lapisan reservoir pada lapangan UP ini dibagi menjadi 3, formasi A, sebagai penghasil gas, formasi B sebagai penghasil minyak dan formasi C sebagai penghasil gas. Lapisan atau formasi target berada pada interval kedalaman 6415 ftMD hingga 11610. Dengan porositas 10% hingga 13% dan kandungan gas CO₂ sebesar 1%. Pengeboran atau drilling adalah pekerjaan membuat lubang sumur yang dilakukan untuk menembus formasi atau lapisan dalam bumi dengan tujuan membuktikan ada atau tidaknya kandungan minyak dan gas bumi yang telah ditargetkan. Dalam pekerjaannya, proses pengeboran dilakukan dengan menggunakan Rig ataupun snubbing unit. Dalam pekerjaan pengeboran atau drilling terdapat beberapa faktor yang harus dipertimbangkan sebagai berikut:

- Jenis Pengeboran, directional/vertical
- Jenis atau tipe dan arah sumur
- Jenis batuan dan formasi
- Tekanan pori serta tekanan rekah dari formasi
- Skematik sumur, jika pengeboran

dilakukan pada sumur re-entry • Jenis Rig atau Snubbing Unit • Jenis BHA • Biaya pengeboran sumur Pengeboran atau drilling adalah pekerjaan membuat lubang sumur yang dilakukan untuk menembus formasi atau lapisan dalam bumi dengan tujuan membuktikan ada atau tidaknya kandungan minyak dan gas bumi yang telah ditargetkan. Dalam pekerjaannya, proses pengeboran dilakukan dengan menggunakan Rig ataupun snubbing unit. Dalam pekerjaan pengeboran atau drilling terdapat beberapa faktor yang harus dipertimbangkan sebagai berikut: • Jenis Pengeboran, directional/vertical • Jenis atau tipe dan arah sumur • Jenis batuan dan formasi • Tekanan pori serta tekanan rekah dari formasi • Skematik sumur, jika pengeboran dilakukan pada sumur re-entry • Jenis Rig atau Snubbing Unit • Jenis BHA • Biaya pengeboran sumur Directional drilling adalah metodologi untuk mengarahkan sumur bor di sepanjang lintasan yang telah ditentukan untuk mencapai target. Sumur vertikal biasanya didefinisikan sebagai sumur dengan kemiringan dibawah 5° . Sumur dengan kemiringan lebih dari 60° disebut juga sumur berarah. Sumur dengan bagian yang memiliki kemiringan lebih besar dari 85° untuk jarak yang signifikan disebut sumur horizontal. Berikut adalah terminologi yang digunakan: Azimuth, sudut ($^{\circ}$) penyimpangan lubang berdasarkan sumbu bumi, Utara, Selatan, Barat, dan Timur. Build-up rate, merupakan bagian saat sudut dari KOP mulai terbentuk, terhitung dalam satuan Build-up rate ($^{\circ}/30$ m) adalah tingkat dimana sudut dibangun. Setiap alat pembelok memiliki perubahan sudut tertentu. Horizontal Displacement, penyimpangan mendatar dari suatu titik di dalam lubang ke titik lokasi, atau juga terkenal dengan notasi (H), drift dan throw. 1. Inclination, sudut yang diukur terhadap sumur vertikal yaitu dari permukaan ke KOP dan sumur horizontal yaitu dari EOB ke sumur target. 2. Kick-off point (KOP), kedalaman dimana sumur pertama menyimpang dari vertikal dimana lubang mulai diarahkan. Pada titik ini dipasang alat pembelok. 3. Measured Depth (MD), istilah untuk ukuran depth, kedalaman ini diukur berdasarkan panjang lubang atau panjang rangkaian pemboran. 4. Relief Co-ordinates, atau titik lokasi adalah titik di permukaan menara didirikan. 5. Co-ordinates Target, titik pemeriksaan tentang arah dan kemiringan dari lubang yang telah

dibuat, ini perlu dilakukan agar proses pemboran tidak jauh dari target dan masih dapat ditoleransi. 6. True Vertical Depth (TVD), kedalaman ini diukur secara vertikal dari titik lokasi sampai suatu titik di dalam lubang dan biasanya digunakan dalam perhitungan tekanan hidrostatik lumpur.

III. Metode Penelitian

Penelitian tugas akhir berjudul “Analisa dan Optimasi Perencanaan Pengeboran Berarah Pada Sumur re-entry menggunakan HWU600K: studi kasus sumur X 12 Lapangan UP PT Saka Energi Indonesia” dilakukan dengan berbagai tahap kegiatan. Penelitian dilakukan dengan metode kualitatif dengan komunikasi langsung dengan pembimbing lapangan, Completion Engineer dan Drilling Engineer Team Lead, karyawan yang bertugas di PT Saka Energi Indonesia. Penelitian ini dilakukan berdasarkan data sumur X-12 dengan menganalisa data trajectory, casing design, data tekanan pore pressure dan fracture gradien, dan data completion schematic yang telah ada. Dikarenakan zona yang sebelumnya di sumbat semen (cement plug) akan diproduksi kembali, maka dilakukan pengeboran zona sumbat semen, pada operasinya akan menggunakan Hydraulic Workover Unit (HWU) 600k. Analisa mengenai Bottom Hole Assembly (BHA), Simulasi Pengeboran Berarah, beban torque dan drag, serta hasil dari simulasi akan dilakukan optimasi efektivitas waktu terhadap penggunaan HWU-600k yang nantinya akan dilakukan evaluasi penggunaan HWU-600k untuk pengeboran sumur re-entry X-12. 3.2 Metode Pengumpulan Data Metode pengumpulan data yang dilakukan penulis yaitu dengan cara mengumpulkan data yang diberikan oleh pembimbing lapangan milik PT Saka Energi Indonesia dan studi literatur serta melakukan analisa terhadap data, setelah itu dilakukan pembahasan terhadap objek tersebut dengan pembimbing, Pengerjaan tugas akhir berdasarkan teori dan simulasi yang digunakan untuk menunjang

analisa/optimasi perencanaan pengeboran berarah pada sumur re entry dengan batasan masalah yang sudah ditentukan oleh penulis.

IV. DISKUSI

Sumur X-12 merupakan sumur directional yang telah selesai dibor pada bulan Januari tahun 2016 dan berproduksi sebagai sumur minyak, sumur X-12 mencapai kedalaman total pada 12000 ftMD (-9500 ftTVD) dengan kondisi open hole ukuran 8 1/2 inchi. Sumur ini telah menembus zona reservoir A, B, dan C. Berdasarkan laporan dari tim subsurface, zona B dan C dianggap dan ditetapkan sebagai zona yang tidak ekonomis, sehingga dipasang 3 Cement Plug pada kedalaman 8144 ftMD, 10310 ftMD, dan 11060 ftMD, serta dipasang EZSV plug di atasnya pada kedalaman 7130 ftMD untuk menutupi produksi dari zona tersebut. Lalu sumur X-12 diproduksi melalui zona A. Pada tahun 2023, perusahaan akan menguji hidrokarbon potensial pada zona yang sebelumnya di sumbat, yaitu zona B dan zona C, dan juga ingin memasang 7 inchi production liner pada zona open hole. Dari diagram dan gambar di atas dapat dilihat skematik sumur X-12 mulai dari garis trajectory sumur terhadap sumbu vertical serta kedudukan dan kedalaman casing. Pada garis trajectory sumur terhadap sumbu vertical terlihat zona vertikal, kick of point, build section, hold section, hingga drop section. Dapat disimpulkan bahwa tipe sumur X-12 adalah sumur berarah Tipe S. Analisa kekuatan HWU-600K perlu dilakukan untuk melihat kemampuan dari HWU-600K dalam melakukan operasi pengeboran, karena pada dasarnya unit ini adalah unit yang digunakan untuk kegiatan workover. Dalam penggunaan HWU-600K sebagai pengganti rig pada operasi pengeboran, lima komponen utama pengeboran yang dimiliki rig akan dipertimbangkan, mulai dari power system, circulating system, hoisting system, rotary system hingga BOP system. Serta beberapa sistem lainnya pada HWU-600k. Berikut nilai kekuatan dari HWU-600K. Dari nilai kekuatan komponen pengeboran pada HWU-600k, nilai maximum torque menjadi perhatian lebih disini, mengingat sumur X-12 merupakan sumur off-shore yang memiliki kedalaman 12.000 ftMD, serta sumur berarah bertipe S. Nilai maksimum torque pada rig yang biasa digunakan dengan

kondisi yang sama, yaitu Jack-Up Rig memiliki nilai torque 91.000 ft-lbs hingga 120.000 ft lbs. Hal ini dapat menimbulkan masalah jika tidak diperhatikan, maka dari itu saat perencanaan hal ini menjadi sangat penting. Nilai dari torque ini akan menjadi hal utama dalam melakukan simulasi pengeboran, dengan menggunakan perangkat lunak WellPlan dapat dilakukan percobaan dengan mempertimbangkan nilai dari WOB, dan RPM untuk mengatasi jika pada hasil simulasi, nilai torque maksimum HWU-600k tidak memenuhi nilai torque yang dibutuhkan untuk melaksanakan operasi pengeboran. Bottom Hole Assembly (BHA) merupakan sebuah rangkaian yang digunakan untuk proses pengeboran suatu sumur. BHA umumnya tersusun dari Drill Pipe, HWDP, Drill Collar, Sub, Jar, serta Bit yang mana rangkaian ini berfungsi untuk menggerus formasi dan memperdalam sumur. Namun untuk sumur directional, digunakan beberapa alat lainnya seperti Stabilizer, Mud-motor, dan Rotary Steerable System (RSS) yang mana rangkaian ini berguna untuk membentuk arah kemiringan dari suatu sumur. Komponen lainnya pada sumur directional ialah alat survey dan logging, umumnya disebut Measurement While Drilling (MWD) untuk survey dan Logging While Drilling (LWD) untuk kegiatan logging. Baik MWD dan LWD membutuhkan aliran listrik untuk dapat berfungsi. Proses pengeboran dapat disimulasikan dengan menggunakan perangkat lunak WellPlan, Hal ini dilakukan dengan cara memasukkan nilai atau kemampuan dari HWU-600K seperti nilai maksimum beban torsi dan melakukan sensitivitas atau percobaan untuk nilai dari setiap komponen simulasinya mulai dari RPM (Rotary per Minute), trip speed, Weight on Bit (WOB) dan juga pump rate. Percobaan dilakukan dengan mencoba mengubah nilai dari setiap komponen tersebut agar didapatkan hasil simulasi yang paling baik dan efektif. Torque merupakan nilai putaran yang dibutuhkan oleh rangkaian pengeboran untuk dapat memutar rangkaian, torque bersumber pada Kelly atau rotary table yang ada di permukaan dan disambungkan dengan rangkaian pengeboran ke BHA sehingga Bit dapat berputar dan menggerus formasi dengan baik. Dari simulasi yang dilakukan, didapatkan nilai torque yang kurang di bagian permukaan untuk melakukan rotating on bottom, hal ini diakibatkan oleh nilai maksimum torque pada HWU-600K sebesar 24.000 ft-lbf,

kurang dari nilai torque di permukaan yang dibutuhkan oleh rangkaian pengeboran untuk melakukan rotating on bottom yaitu sebesar 26.000 ft-lbf. Namun, untuk kegiatan lainnya seperti tripping in, tripping out, slide drilling, dan rotating off bottom, berdasarkan hasil simulasi, kemampuan torque dari HWU-600k dapat melakukannya dengan baik. Dari simulasi yang dilakukan, didapatkan kurva hook load seperti berikut, dapat dilihat bahwa nilai dari beban yang dihasilkan oleh kegiatan pengeboran seperti tripping in/out, rotating on/off bottom, dan slide drilling tidak mengakibatkan masalah, karena nilai maksimum load dari HWU-600K mampu untuk menahan beban yang dihasilkan oleh proses pengeboran. Hydraulics merupakan kekuatan atau energi yang dibutuhkan oleh rangkaian pengeboran untuk dapat membawa cutting atau serpihan formasi yang telah digerus oleh Bit dari bawah sumur hingga permukaan, Nilai dari hydraulic didasari oleh kekuatan laju alir pengeboran dari pompa dan nozzle dari bit yang digunakan. Dari simulasi yang dilakukan, didapatkan dua kurva diatas, dari kedua kurva tersebut, dapat disimpulkan bahwa pada kedalaman 5000ft – 3000ft terdapat masalah, karena volume dari cutting membesar dan membentuk semacam bed, hal ini menyatakan bahwa laju alir dari pompa yang digunakan masih belum dapat mengangkat cutting hingga ke permukaan secara maksimal karena energi yang dihasilkan hanya mampu mengangkat cutting secara maksimal ke kedalaman 5000ft. Berdasarkan hasil simulasi, didapatkan dua masalah utama, yaitu nilai torque yang kurang untuk rotating on bottom, dan juga pada hydraulic, volume dari cutting menciptakan bed pada kedalaman 5.000 ft. Optimasi yang dilakukan untuk menyelesaikan masalah ini adalah: Drill String Torque Reducer merupakan suatu teknologi dari Expro dan berperan sebagai alat rangkaian pengeboran yang digunakan pada sumur berarah dan berfungsi untuk mengurangi nilai torque dan casing wear yang 54 Institut Teknologi Sains Bandung diakibatkan oleh putaran dan friksi yang terlalu besar pada zona build up. Untuk mengatasi permasalahan torque pada sumur X-12, maka DSTR akan digunakan pada rangkaian pengeboran (drill string) dan dipasang pada Drill Pipe. DSTR dapat mengurangi nilai torque dan mengatasi masalah casing wear karena pada penggunaannya, alat ini dilengkapi dengan retainer rings yang

didalamnya terdapat replaceable bearing race and seals, serta memiliki ball bearing yang mengakibatkan DSTR dapat bergerak fleksibel pada titik ini namun tetap dapat memutar rangkaian dengan baik, sehingga penggunaannya dapat mengurangi masalah torque pada pengeboran, dapat menambah energi pada bit karena friksi yang dikurangi dan meredam masalah casing wear.

V. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, perencanaan pengeboran berarah pada sumur re-entry X-12 menggunakan HWU-600K, setelah dilakukan analisa pada rangkaian BHA yang akan digunakan, serta dilakukan juga simulasi pengeboran menggunakan perangkat lunak WellPlan, dan optimasi serta evaluasi yang dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut: 1. Berdasarkan hasil simulasi dan optimasi, BHA yang digunakan terdiri dari Mud Motor, Stabilizer, Ontrak Integrated MWD & LWD, Hydro mechanical Jar, serta menggunakan Drill String Torque Reducer. 2. Dengan dilakukannya optimasi, nilai atau besar torque dan drag yang dibutuhkan untuk melakukan pengeboran pada sumur X-12 mampu dioperasikan oleh HWU-600K. 3. HWU-600K memiliki kemampuan untuk melaksanakan kegiatan pengeboran berarah pada sumur X-12, namun membutuhkan tambahan AWB sebagai tambahan deck dan akomodasi. 4. Beberapa teknologi pengeboran terbaru diimplementasikan pada perencanaan sumur X-12 yaitu Ontrak Integrated MWD & LWD yang menggabungkan rangkaian MWD sekaligus LWD. Serta penggunaan Drill String Torque Reducer yang berguna untuk mengurangi beban torque sebesar 15%. 5. Semua teknologi pengeboran terbaru pada sumur X-12 sangat efektif untuk digunakan karena dapat menghemat waktu, meminimalisir kegagalan, serta mempercepat proses pengeboran sehingga dapat menghemat biaya yang akan digunakan. 6. Dari sisi ekonomi, penggunaan HWU-600K menggantikan Jack-up Rig mendapatkan hasil yang sangat baik, mengingat lokasi platform untuk sumur X-12 yang memerlukan dredging atau pengerukan untuk mobilisasi Jack-up Rig dan memerlukan biaya yang sangat besar yaitu 21 MUSD dan juga memerlukan penambahan waktu 8 bulan untuk proses perizinan. Sehingga

penggunaan HWU-600K untuk sumur X-12 merupakan solusi yang terbaik.

VI. Daftar Pustaka

- Penerbitan: Nama Penerbit.
- Adams, N.J. 1985. Drilling Engineering, A Complete Well Planning Approach. PennWell Publishing Tulsa.
- Bourgoyne, A.T. Jr. 1986 Applied Drilling Engineering. Society of Petroleum Engineer.
- Mitchell, Robert. 2013. Drillstring Analysis with a Discrete Torque-Drag Model.
- Herianto, 2008. Perhitungan Kapasitas Rig yang Diperlukan pada suatu Rencana Operasi Pemboran Migas. Yogyakarta: Prosiding Seminar Nasional Kebumihan.
- Herinto, P. Subiatmo, dan M. Sauman "Optimasi Hidrolika pada Penggunaan Down Hole Mud Motor (DHMM) dengan Konsep Minimum Annular Velocity untuk Pemboran Sumur-sumur Berarah" Proceeding Simposium Nasional IATMI 2001. Yogyakarta, Indonesia. 3-5 Oktober 2001.
- Khartoum, Sudan : University of Khartoum Engineering Journal. Mitchell, B., 1974. "Advanced Oilwell Drilling Engineering Handbook". Lakewood Colorado: Oilwell Drilling.
- Mitchell, Robert F., 2013. Drillstring Analysis with A Discrete Torque-Drag Model. SPE/IADC Drilling Conference and Exhibition.
- Rabia, H. 2002. Well Engineering and Construction, Entrac Consulting
- Rubiandini, Rudi. 2018. Desain Pemboran Volume 2, Suka Printing, Bandung.
- Rubiandini, Rudi. 2018. Teknik Pemboran Modern, Volume 3, Suka Printing, Bandung.