

PERENCANAAN LINTASAN PEMBORAN BERARAH SUMUR F PADA LAPANGAN PANAS BUMI DARAJAT

Ferianto Frans Wibowo
Jurusan Teknik Perminyakan Fakultas Teknologi Kebumihan Dan Energi Universitas
Trisakti
E-mail :feri.ffw@gmail.com

Abstrak

Secara umum sumur-sumur pada lapangan panas bumi didominasi oleh sumur berarah atau directional well. Dengan berbagai macam alasan mulai dari alasan lingkungan, kondisi topografi, kondisi reservoir, sampai dengan masalah produksi, sumur – sumur di lapangan panas bumi dibor dengan sistem pemboran berarah dan dibuat dengan sistem cluster, begitu juga dengan sumur – sumur di lapangan panas bumi Darajat. Sumur F merupakan salah satu sumur yang akan dibor pada saat Darajat Drilling Campaign tahun 2017-2018. Hal – hal yang menjadi perhatian utama pada saat perencanaan sumur ini antara lain risiko – risiko pemboran yang mungkin terjadi, waktu pemboran, biaya pemboran, dan build section lintasan yang berada di dalam reservoir. Perencanaan sumur F dilakukan dengan menentukan jenis lintasan sumur yang akan dibor, menganalisa insiden – insiden pemboran yang terjadi pada saat pemboran sumur-sumur di sekitarnya, menganalisa jenis lapisan batuan yang akan dibor, dan mengoptimalkan perencanaan kedalaman pemasangan tiap casing. Metode – metode analisa tersebut diterapkan dengan tujuan untuk mengurangi risiko – risiko pemboran yang mungkin terjadi pada saat proses pemboran sumur ini nantinya. Pada intinya perencanaan lintasan pemboran sumur F lapangan Darajat ini dilakukan untuk menghasilkan operasi pemboran yang injury free dan incident free, serta tidak lupa untuk mempertimbangkan waktu dan biaya pemborannya.

Kata Kunci :Panas Bumi, Reservoir, Pemboran, Perencanaan, Trajectory

Pendahuluan

Pemboran berarah atau yang dikenal dengan istilah directional drilling adalah suatu teknik pemboran dimana arah pemboran dibelokkan mengikuti lintasan yang telah direncanakan untuk mencapai target yang telah ditentukan. Pemboran berarah merupakan proses yang membutuhkan biaya lebih besar daripada pemboran vertikal, sehingga perlu perencanaan yang baik dalam mengoptimalkan tiap operasi pemboran.

Secara umum sumur-sumur pada lapangan panas bumi didominasi oleh sumur berarah atau directional well, tidak terkecuali pada lapangan Darajat di mana hampir 90% sumur pada lapangan ini merupakan sumur berarah dan dibuat dengan menggunakan sistem cluster.

Darajat drilling campaign yang akan dilaksanakan pada tahun 2017-2018 secara umum direncanakan dengan tujuan untuk meningkatkan produksi uap sebesar 160 kg/s. Diharapkan dengan adanya tambahan produksi steam tersebut dapat mendukung tiga unit generator di lapangan Darajat dalam mempertahankan penghasilan listrik sebesar 271 MW sampai dengan drilling campaign selanjutnya. Selain itu drilling campaign ini juga bertujuan untuk mencari informasi baru akan adanya kemungkinan perluasan reservoir Darajat (reservoir extension).

Sumur F merupakan salah satu sumur yang akan dibuat pada Darajat Drilling Campaign 2017-2018. Tujuan secara khusus pembuatan sumur ini antara lain untuk meningkatkan produksi uap, untuk mencapai nilai rate of return dari pad F dengan adanya peningkatan produksi uap, dan sebagai step out well untuk mencari informasi baru (value of information) akan adanya kemungkinan reservoir extension secara vertikal dan lateral pada bagian barat laut reservoir Darajat.

Kunci utama kesuksesan dari pembuatan sumur F ini adalah dengan mewujudkan operasi pemboran yang incident free dan injury free. Untuk mewujudkan incident free operation, risiko – risiko pemboran seperti loss circulation dan stuck pipe yang mungkin terjadi harus diminimalisasi. Selain itu biaya dan waktu pemboran turut menjadi pertimbangan dalam melakukan operasi pemboran. Maka dari itu diperlukan perencanaan lintasan sumur yang sebaik mungkin dan se-optimal mungkin, agar operasi pemboran berjalan lancar, aman, dan efisien.

Beberapa hal yang dilakukan dalam perencanaan sumur F ini antara lain menganalisa jenis batuan yang akan ditembus, menganalisa insiden stuck pipe, loss circulation, dan tight spot yang terjadi pada pemboran sumur di sekitarnya, menentukan target – target yang akan ditembus, dan membuat beberapa desain lintasan yang berbeda dengan menggunakan metode survei minimum curvature.

Pada akhirnya beberapa desain lintasan tersebut dapat dijabarkan dan dibandingkan kelebihan dan kekurangannya, kemudian dipilih salah satu desain lintasan yang paling tepat. Pemilihan desain trajectory yang paling tepat didasarkan atas beberapa aspek yaitu risiko dan insiden pemboran yang mungkin terjadi, waktu pemboran, dan biaya pemboran.

Metodologi Penelitian

Untuk mewujudkan operasi pemboran yang lancar, aman, dan efisien serta mengedepankan injury free and incident free operation, metode yang digunakan dalam perencanaan sumur F ini antara lain:

1. Menganalisa insiden pemboran yang terjadi saat pemboran sumur-sumur di sekitarnya. Insiden yang dimaksud antara lain partial loss circulation, total loss circulation, tight spots, dan stuck pipe.
2. Mengoptimalkan perencanaan kedalaman pemasangan tiap casing dan mempertimbangkan untuk memasang casing sebelum pemboran menembus zona lapisan yang berpotensi terjadi insiden.
3. Menganalisa adanya lapisan yang kompeten (lava andesit) untuk pemasangan cemented casing, dan menganalisa data loss circulation dari offset wells untuk menghindari loss saat penyemenan.
4. Menentukan target-target yang akan ditembus oleh lintasan sumur tersebut.
5. Membuat beberapa desain trajectory yang memiliki parameter-parameter yang berbeda. Parameter yang dimaksud antara lain kick off point, end of build, build up rate, inklinasi, dan kedalaman tiap casing.
6. Membuat perhitungan survei tiap desain trajectory dengan menggunakan metode minimum curvature.
7. Menjabarkan kelebihan dan kekurangan dari beberapa desain yang direncanakan, sehingga dapat dipilih salah satu desain trajectory yang paling tepat.
8. Pemilihan desain trajectory yang paling tepat didasarkan atas beberapa aspek yaitu risiko pemboran yang kemungkinan terjadi, waktu pemboran, dan biaya pemboran.

Pembuatan lintasan pemboran berarah sumur F ini menggunakan satu metode perhitungan, yaitu metode minimum of curvature, karena metode ini paling akurat dalam menginterpretasikan suatu lintasan pemboran. Persamaan yang digunakan pada metode perhitungan ini antara lain :

$$\Delta TVD = \frac{\Delta MD}{2} \times (\cos I_1 + \cos I_2) \times RF \quad (1)$$

$$\Delta HD = \frac{\Delta MD}{2} \times (\sin I_1 + \sin I_2) \times RF \quad (2)$$

$$\Delta North = \frac{\Delta MD}{2} \times (\sin I_1 \cos A_1 + \sin I_2 \cos A_2) \times RF \quad (3)$$

$$\Delta East = \frac{\Delta MD}{2} \times (\sin I_1 \sin A_1 + \sin I_2 \cos A_2) \times RF \quad (4)$$

Di mana :

$$RF = \frac{2}{DL} \times \tan\left(\frac{DL}{2}\right) \quad (5)$$

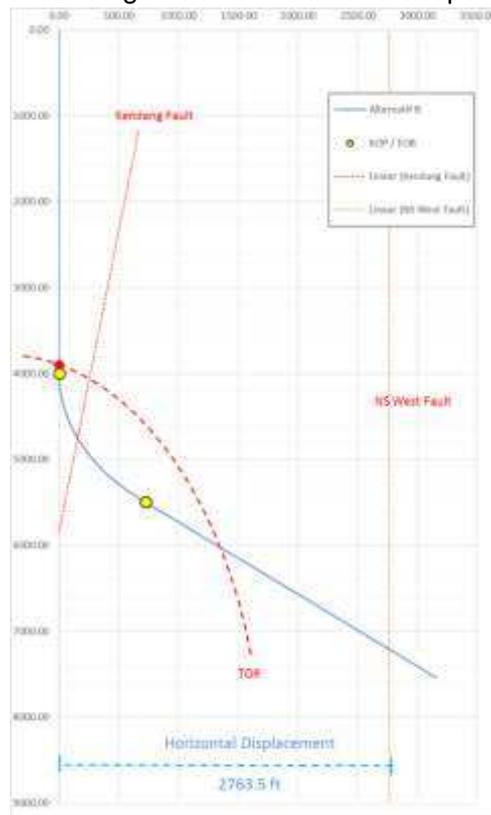
$$DL = \cos^{-1}[\cos(I_2 - I_1) - \sin I_1 \sin I_2 (1 - \cos(A_2 - A_1))] \quad (6)$$

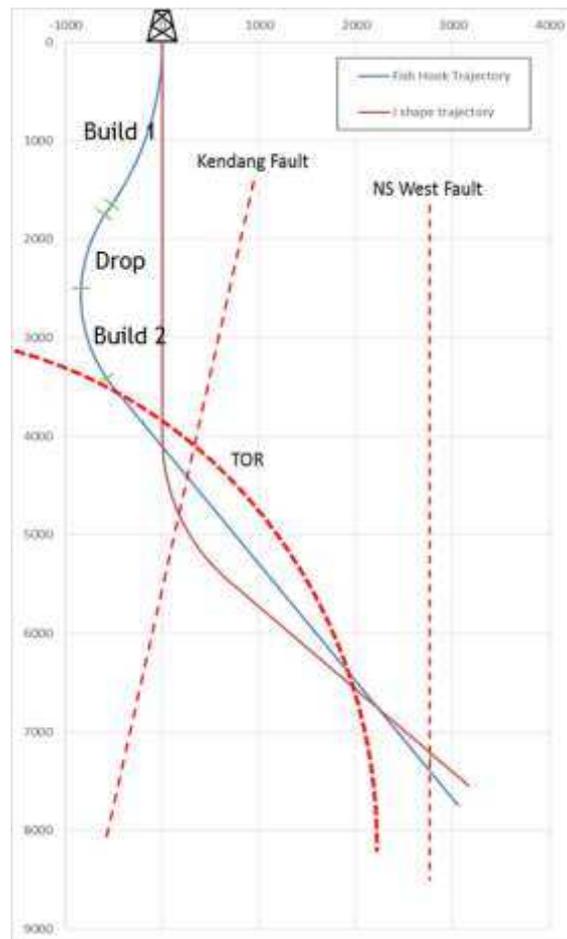
Hasil dan Pembahasan

Perencanaan sumur F ini diawali dengan menentukan arah azimuth dan jenis lintasan yang akan dibentuk. Karena bertujuan untuk mencari informasi mengenai reservoir pada bagian barat daya, maka lintasan sumur ini direncanakan memiliki arah azimuth 282° dan mengarah langsung menuju rencana lokasi pad Z. Informasi – informasi yang akan didapat juga berguna sebagai bahan pertimbangan, apakah lokasi pad Z tersebut layak dan menguntungkan apabila sumur – sumur pengembangan selanjutnya dibor pada cluster tersebut.

Pilihan jenis lintasan J shape dengan build up rate $3^\circ/100\text{ft}$ adalah yang pertama dipertimbangkan karena bentuknya yang paling sederhana. Namun terdapat kekurangan dengan desain tipe J shape yaitu build section yang berada di dalam reservoir. Maka dari itu direncanakan bentuk lintasan lain, yaitu jenis lintasan fish hook dengan tujuan menyelesaikan pembelokkan lintasan sebelum memasuki reservoir.

Gambar 1. Perbandingan Jenis Lintasan J shape dan Fish Hook





Gambar 2. Lintasan Pemboran Tipe J Shape dan Target – targetnya

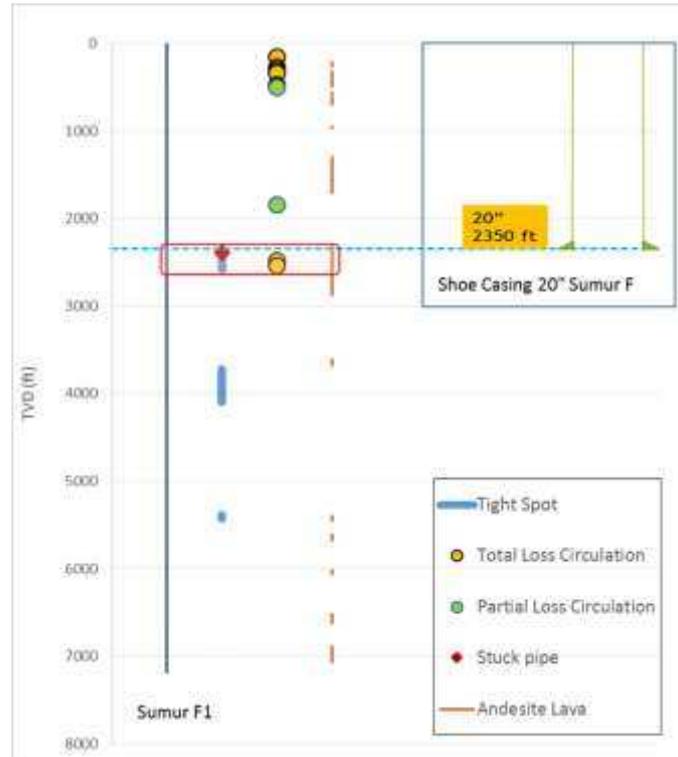
Jenis lintasan fish hook yang sudah direncanakan memiliki build up rate sebesar $2^\circ/100\text{ft}$ pada saat pemboran lubang 26" dan build up rate $3,9^\circ/100\text{ft}$ pada saat pemboran lubang 17-1/2". Build up rate $2^\circ/100\text{ft}$ dinilai terlalu tinggi untuk membelokkan lubang besar (lubang 26"), sedangkan build up rate $3,9^\circ/100\text{ft}$ pada lubang 17-1/2" juga melampaui batas aman dogleg di lapangan Darajat, yaitu maksimal sebesar $3,5^\circ/100\text{ft}$. Maka dari itu bentuk lintasan yang dipilih untuk perencanaan sumur F adalah bentuk lintasan J shape.

Tipe lintasan yang digunakan pada perencanaan sumur ini adalah tipe J shape. Dengan arah azimuth 282° , terdapat empat target yang akan ditembus oleh lintasan sumur F. Target pertama merupakan top of reservoir terdapat pada kedalaman 3897 ft TVD, target kedua adalah patahan Kendang, target ketiga merupakan prediksi adanya entry yang berhubungan dengan feedzone pada sumur – sumur di sekitarnya, dan target terakhir adalah patahan NS West yang berbentuk hampir vertikal dan terletak sejauh 2763.5 ft (horizontal displacement) dari titik awal sumur di permukaan.

Perencanaan sumur ini dilakukan dari permukaan sampai dengan total depth pada kedalaman 8900 ft MD. Urutan lintasan yang sudah direncanakan yaitu zona lintasan vertikal sampai dengan 4000 ft TVD, build section sampai dengan EOB pada 5667 ft MD, dan tangent section dengan inklinasi 50° sampai dengan total depth.

Pada zona vertikal, lintasan diawali dengan pemboran lubang 26" yang kemudian akan dipasang casing 20" sampai dengan kedalaman 2350 ft TVD. Penetapan casing shoe pada 2350 ft TVD dengan tujuan untuk mengamankan lintasan pemboran tersebut, karena berdasarkan data pemboran offset well sumur F1, pada kedalaman selanjutnya terdapat berbagai macam insiden pemboran antara lain tight spot pada kedalaman 2385 – 2585 ft TVD, stuck pipe pada kedalaman 2385 ft TVD, dan loss circulation pada

kedalaman 2478 ft TVD dan 2531 ft TVD. Maka dari itu dipertimbangkan untuk memasang casing 20" sebelum pemboran menembus zona yang banyak terjadi masalah.



Gambar 3. Korelasi Drilling Hazard Pada Saat Pemboran Sumur Offset F1

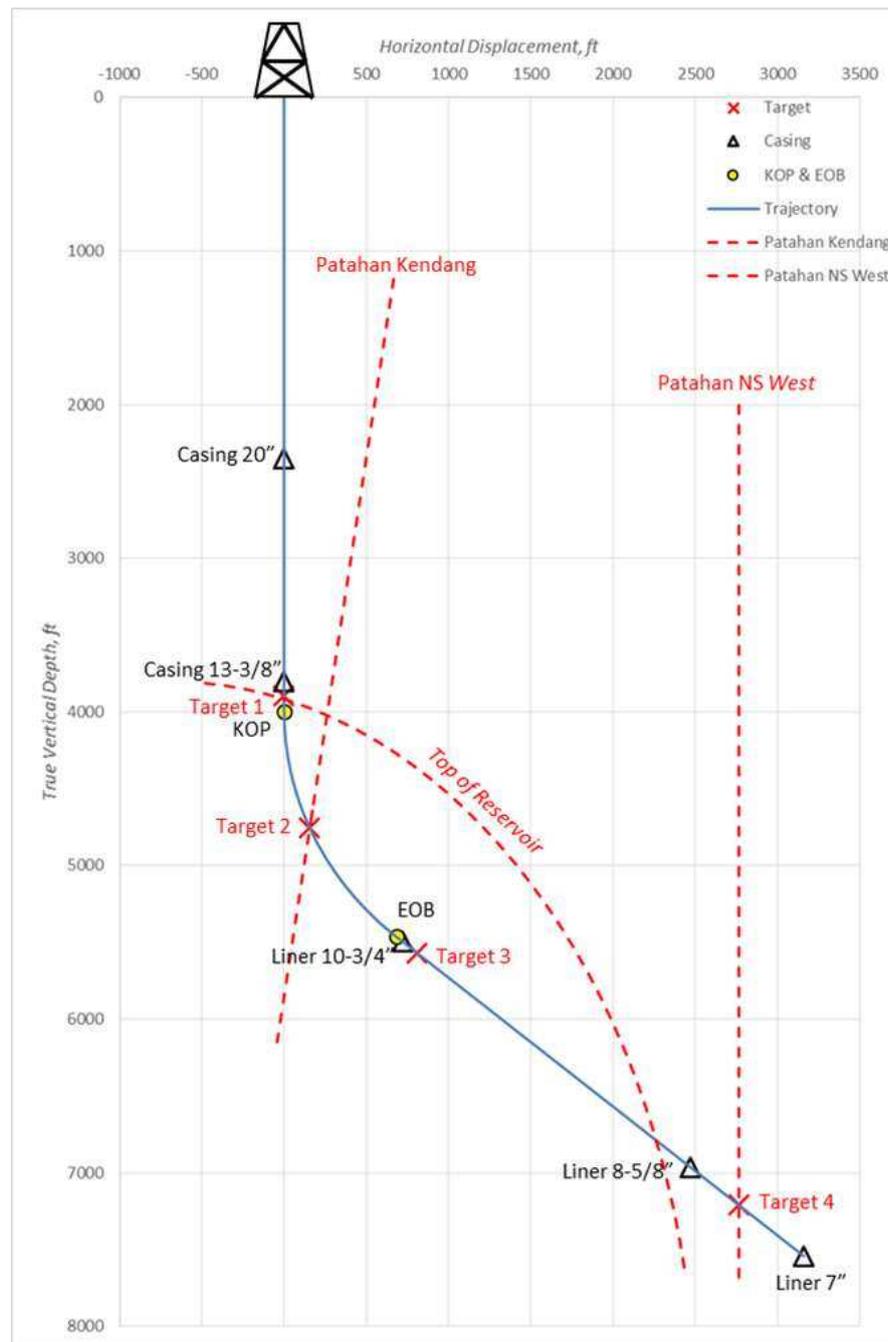
Urutan selanjutnya pada zona lintasan vertikal adalah pemboran lubang 17-1/2" dan pemasangan casing 13-3/8" sampai pada kedalaman 3800 ft TVD. Pemasangan casing pada kedalaman 3800 ft TVD didasari dengan pertimbangan agar sedekat mungkin dengan top of reservoir (kedalaman 3897 ft TVD). Hal ini dilakukan untuk mengurangi kemungkinan adanya fluida non reservoir yang masuk ke dalam sumur dari celah antara casing 13-3/8" dan top of reservoir. Apabila ikut terproduksi, fluida non reservoir yang memiliki temperature lebih rendah dapat mengurangi panas dari uap di dalam sumur apabila keduanya tercampur.

Tabel 1. Data Umum Rencana Lintasan Pemboran Sumur F

General	
Sumur	F
Lapangan	Darajat
Tipe Lintasan	J - Shape
Klasifikasi	Original hole, step out well
Surface Location	
Lokasi	Pad F
Elevasi Permukaan	5807.37 ft
Tinggi KB	32 ft
Elevasi KB	5839.37 ft
Downhole Location	
Total Depth	8900 ft MD
TVD	7541 ft
Horizontal Displacement	3159 ft
Directional Program	
Inklinasi	50°
Azimut	282°
Kick Off Point	4000 ft
Build Up Rate	3°/100ft
End of Build	5667 ft MD
Target Lintasan	
Top Of Reservoir	3897 ft MD
Patahan Kendang	4775 ft MD
Entry Cluster	5835 ft MD
Patahan NS West	8384 ft MD

Pemasangan casing 13-3/8" ini juga mempertimbangkan adanya lapisan batuan yang kompeten untuk men-support penyemenan agar tidak terjadi cement loss. Batuan yang baik untuk support penyemenan adalah batuan lava andesit. Dilihat dari data litologi sumur offset F1 pada kedalaman 3800 ft TVD tidak terdapat lapisan lava andesit, namun terdapat lapisan batuan lapilli dan breksi yang terkompaksi, tidak mudah rekah, dan hanya terdapat sedikit rekahan. Maka dari itu lapisan batuan pada kedalaman 3800 ft TVD dinilai cukup kompeten untuk menahan tekanan hidrostatik semen.

Setelah pemasangan casing 13-3/8", lintasan pemboran mulai dibelokkan. Build section diawali dengan kick off point pada kedalaman 4000 ft TVD, yaitu sejauh 200 ft dari kedalaman casing 13-3/8". Jarak 200 ft dari casing shoe ini bertujuan agar bottom hole assembly yang memiliki diameter besar sudah berada di luar reservoir, sehingga meminimalisasi casing wear. Selain itu juga untuk memastikan repeater sub dan antenna sub pada rangkaian BHA yang berguna untuk mengendalikan rotary steerable system sudah berada di luar casing, sehingga penerimaan dan pengiriman sinyal dari permukaan tidak terganggu.



Gambar 3. Hasil Akhir Bentuk Rencana Lintasan Pemboran Sumur F

Build section pada lintasan sumur ini direncanakan dengan build up rate sebesar $3^{\circ}/100\text{ft}$. Rate yang cukup besar ini ditetapkan dengan tujuan agar lintasan memiliki sudut yang cukup besar pada saat menembus patahan Kendang. Pada desain lintasan sumur ini, perpotongan antara lintasan dengan patahan Kendang membentuk sudut sebesar 33° . Sudut perpotongan ini diharapkan sudah cukup besar agar menghindari whipstock effect yang dapat menyebabkan inclination drop. Selain itu Build up rate sebesar $3^{\circ}/100\text{ft}$ ini masih masuk dalam taraf aman, karena batas maksimum build up rate pada pemboran di lapangan Darajat adalah $3,5^{\circ}/100\text{ft}$.

Pada bagian build section, lintasan sumur F ini dibelokkan sampai mencapai inklinasi akhir dengan sudut 50° . Inklinasi akhir yang direncanakan dengan sudut 50° memiliki beberapa keuntungan, di antaranya yaitu mempercepat penembusan target terakhir (Patahan NS West); total depth dan true vertical depth tidak terlalu dalam apabila dibandingkan dengan menggunakan inklinasi yang lebih kecil; dan sudut perpotongan

lintasan dengan patahan NS West yang cukup besar sehingga mengurangi kemungkinan terjadi whipstock effect.

Kekurangan penggunaan inklinasi sebesar 50° adalah build section yang cukup panjang untuk mencapai inklinasi tersebut, terutama karena build section pada lintasan ini harus dilakukan di dalam reservoir. Dengan KOP pada kedalaman 4000 ft TVD dan BUR sebesar 3°/100ft, desain lintasan sumur F ini perlu dibelokkan sampai end of build pada kedalaman 5667 ft MD untuk mencapai inklinasi 50°.

Setelah lintasan mencapai inklinasi 50°, lintasan dilanjutkan dengan tangent section sampai dengan total depth pada kedalaman 8900 ft MD. Penembusan keempat target pada lintasan sumur F ini terjadi pada kedalaman berikut, yaitu penembusan target pertama (top of reservoir) pada kedalaman 3897 ft TVD, perpotongan dengan target kedua (patahan Kendang) pada kedalaman 4775 ft MD, penembusan target ketiga (entry cluster) pada kedalaman 5835 ft MD, dan penembusan target keempat (patahan NS West) pada kedalaman 8384 ft MD.

Rule of thumb untuk penentuan total depth pada lapangan Darajat umumnya pemboran dilanjutkan sejauh 300 – 500 ft dari penembusan target terakhir. Sumur F merupakan sumur step out, maka dari itu total depth untuk lintasan sumur ini direncanakan pada kedalaman sejauh 500 ft setelah penembusan patahan NS West (8384 ft MD), yaitu pada kedalaman 8900 ft MD. Jarak 500 ft dari penembusan target terakhir ini dengan tujuan untuk mengumpulkan informasi yang lebih dalam serta untuk mengakomodasi kemungkinan adanya entry yang berhubungan dengan patahan NS West.

Untuk mengurangi kemungkinan terjadinya stuck pipe akibat panjangnya build section di dalam reservoir, rencana lintasan sumur ini akan dipasang tiga tahap perforated liner, yaitu perforated liner dengan ukuran 10-3/4", 8-5/8", dan 7". Perforated liner tersebut dipasang setelah lintasan memasuki reservoir, tepatnya untuk sumur F ini dipasang pada bagian lintasan build section dan tangent section.

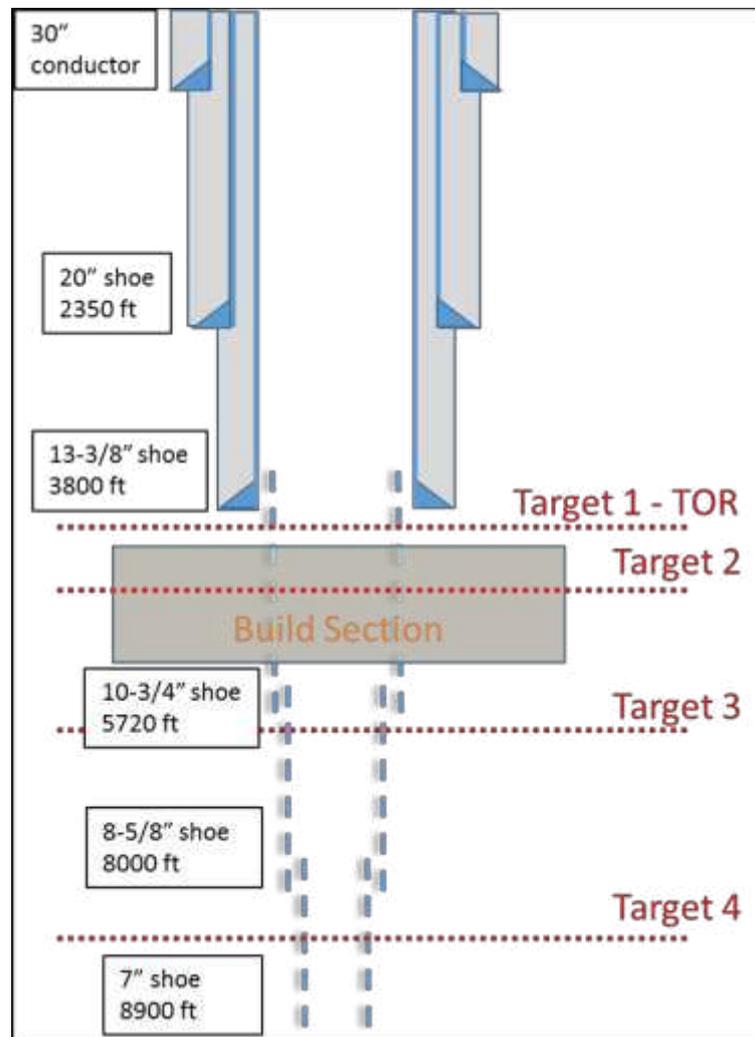
Dengan tujuan untuk mengamankan lubang sumur 12-1/4", perforated liner 10-3/4" dipasang pada kedalaman 5720 ft MD, tepatnya setelah lintasan mencapai end of build dan sebelum lintasan menembus target ketiga. Sehingga pada saat pemboran dilanjutkan dan menembus zona loss target ketiga, cutting ataupun batuan pack off dari lubang sumur sebelumnya tidak akan memperbesar risiko stuck pipe.

Begitu juga dengan pemasangan perforated liner selanjutnya, perforated liner 8-5/8" dipasang sebelum lintasan menembus target keempat (patahan NS West) yaitu pada kedalaman 8000 ft MD, dengan tujuan untuk mengamankan lubang sumur sebelumnya dan mengurangi kemungkinan stuck pipe saat pemboran menembus target keempat. Selanjutnya perforated liner terakhir dengan ukuran 7" dipasang sampai dengan kedalaman total sumur ini, yaitu pada kedalaman 8900 ft MD.

Pemasangan perforated liner yang mencapai tiga tahap ini memang untuk menghindari risiko terjadinya insiden pemboran yang tidak diinginkan. Namun di sisi lain, pemasangan tiga tahap perforated liner ini membutuhkan waktu yang lama sehingga membutuhkan biaya sewa peralatan yang lebih tinggi apabila dibandingkan dengan menggunakan dua ukuran perforated liner. Maka dari itu walaupun pada perencanaan lintasan sumur ini digunakan tiga perforated liner, penggunaan hanya dua tahap perforated liner tetap diusahakan apabila kondisi aktual pada saat pemboran memungkinkan, dengan tetap memperhatikan parameter – parameter pada saat pemboran berlangsung.

Tabel 2. Rencana Kedalaman Program Casing Sumur F

Hole Size	Casing Size	MD (ft)	Remarks
26"	20"	2350	Cemented casing
17-1/2"	13-3/8"	3800	Cemented casing
12-1/4"	10-3/4"	5720	Perforated liner
9-7/8"	8-5/8"	8000	Perforated liner
7-7/8"	7"	8900	Perforated liner



Gambar 4. Ilustrasi Rencana Program Casing Sumur F

Kesimpulan

Beberapa kesimpulan yang dapat diambil dari proses perencanaan sumur F di lapangan panas bumi Darajat ini antara lain :

1. Risiko pemboran yang menjadi perhatian pada perencanaan lintasan sumur ini adalah adanya build section di dalam reservoir dan kemungkinan terjadinya insiden – insiden pada saat pemboran (drilling hazard).
2. Untuk mengurangi kemungkinan terjadinya insiden dapat dilakukan dengan menganalisa insiden pemboran yang terjadi pada saat pemboran sumur-sumur di

- sekitarnya (offset wells). Insiden yang dimaksud antara lain partial loss circulation, total loss circulation, tight spots, dan stuck pipe.
3. Untuk mengurangi risiko pada saat pemboran juga dilakukan dengan mengoptimalkan perencanaan kedalaman pemasangan tiap casing, menggunakan tiga jenis ukuran perforated liner, dan mempertimbangkan untuk memasang casing sebelum pemboran menembus zona lapisan yang berpotensi terjadi insiden.
 4. Adanya lapisan batuan yang kompeten perlu dianalisa untuk proses penentuan kedalaman casing, agar batuan tersebut mampu menahan tekanan hidrostatik saat penyemenan. Lapisan batuan yang kompeten untuk pemasangan casing adalah batuan yang keras, tidak terdapat banyak rekahan, dan tidak mudah terjadi rekahan. Salah satu jenis batuan yang baik untuk pemasangan casing di lapangan Darajat adalah batuan lava andesit.
 5. Menggunakan tiga tahap perforated liner ukuran 10-3/4", 8-5/8", dan 7" lebih dianjurkan untuk meminimalkan risiko pemboran. Namun dengan pertimbangan biaya dan waktu pemboran, pemasangan perforated liner tetap diusahakan hanya menggunakan dua ukuran apabila keadaan aktual saat pemboran memungkinkan. Dengan tetap memperhatikan parameter – parameter pada saat operasi pemboran seperti torsi, weight on bit, rotation per minute (RPM), dan rate of penetration (ROP).
 6. Pertimbangan utama pada perencanaan lintasan sumur F adalah risiko – risiko yang mungkin terjadi, waktu, dan biaya pemboran.
 7. Parameter pemboran berarah pada rencana lintasan sumur F ini antara lain kick off point pada kedalaman 4000 ft, arah lintasan menuju azimuth 282°, build up rate 3°/100ft, end of build pada kedalaman 5667 ft MD, inklinasi akhir lintasan 50°, dan kedalaman akhir lintasan sumur ini mencapai 8900 ft MD.
 8. Target – target yang akan ditembus oleh lintasan sumur ini antara lain top of reservoir pada kedalaman 3897 ft TVD, patahan Kendang yang akan ditembus pada kedalaman 4775 ft MD, entry cluster yang akan ditembus pada kedalaman 5835 ft MD, dan patahan NS West yang akan ditembus pada kedalaman 8384 ft MD.

Daftar Simbol

BHA	=	Bottom Hole Assembly
BUR	=	Build Up Rate, °/100ft
DLS	=	Dog Leg Severity, °/100ft
EOB	=	End Of Build, ft
HD	=	Horizontal Displacement, ft
KOP	=	Kick Off Point, ft
MD	=	Measured Depth, ft
MW	=	Megawatt
RF	=	Faktor koreksi pada perhitungan minimum of curvature
RSS	=	Rotary Steerable System
STL	=	Survey Tool Length, ft
TVD	=	True Vertical Depth, ft
TD	=	Total Depth, ft
ΔEast	=	Perubahan horizontal displacement ke arah timur, ft
ΔHD	=	Perubahan horizontal displacement, ft
ΔMD	=	Perubahan measured depth, ft
ΔNorth	=	Perubahan horizontal displacement ke arah utara, ft
ΔTVD	=	Perubahan true vertical depth, ft

Daftar Pustaka

BP/Chevron Directional Training Alliance, *Directional Drilling*, Pelatihan Directional Drilling, Jakarta, 2012.

Maman Djumantara, *Trajectory Directional Drilling*, Universitas Trisakti, Jakarta, 2012.
Michael B. Burton, *Method and apparatus for lateral drilling in oil and gas wells*, Hak Paten Nomor US 4699224 A, 1987.

Nissyia Mazhaly, *Analisa Trajectory Directional Drilling Sumur X, Y, Z – “Nissyia” Lapangan – A BOB PT.BSP Pertamina Hulu Riau*, Tugas Akhir – Teknik Perminyakan Universitas Trisakti, Jakarta, 2011.

Patra Utama HRD, *Directional Drilling Course*, Jakarta, 1988.

Rindu G. Intani et al., *West Edgefield Evaluation of the Darajat Geothermal Field, Indonesia*, Makalah Disampaikan Pada World Geothermal Congress 2015, Melbourne, 2015.

Robello Samuel, *Rotary steerable drilling system and method*, Hak Paten Nomor US20140190750 A1, 2014.

Rudi Rubiandini R.S., *Teknik Operasi Pemboran*, HMTM Patra, Teknik Perminyakan ITB, Bandung, 2014.

Sri Rejeki et al., *Geologic Conceptual Model Update of the Darajat Geothermal Field, Indonesia*, Makalah Disampaikan Pada World Geothermal Congress 2010, Bali, 2010.

Wingsang Umbara, *Perencanaan Pemboran Berarah Pada Lapangan Geothermal*, Tugas Akhir – Teknik Perminyakan Universitas Trisakti, Jakarta, 2006.