
**Optimasi Hidrolika Lumpur Pemboran Menggunakan Api *Modified Power Law*
Pada *Hole 8^{1/2}* Sumur X Lapangan Mir**

Novrianti¹, Mursyidah¹, M. Iqbal Ramadhan¹

¹Program Studi Teknik Perminyakan Universitas Islam Riau

Abstrak

Salah satu faktor utama yang perlu diperhatikan dalam keberhasilan suatu operasi pemboran adalah pembersihan lubang bor dari serbuk bor selama proses pemboran berlangsung. Perencanaan dan kontrol yang baik dapat mempercepat operasi pemboran dan secara keseluruhan dapat menghemat biaya. Sistem hidrolika lumpur pemboran berpengaruh terhadap pembersihan lubang bor, lumpur yang keluar dari *nozzle* dengan kecepatan tinggi membantu pahat menembus batuan serta mengangkat *cutting* ke permukaan. Analisis hidrolika lumpur dan hidrolika pahat pada sumur X dilakukan pada pelaksanaan pengeboran *hole 8^{1/2}* dimulai dari kedalaman 2093 ft – 5555 ft. Analisis ini dilakukan untuk mengetahui kehilangan tekanan sirkulasi lumpur pemboran serta untuk mengoptimalkan laju alir sirkulasi dan diameter *nozzle* pahat untuk mengoptimalkan pengangkatan *cutting*. Metode yang dipergunakan dalam analisis lumpur pemboran adalah metode *API modified power law* dimana metode tersebut merupakan penyempurnaan dari metode *power law* dan direkomendasikan untuk dipergunakan oleh API. Sedangkan metode yang digunakan dalam mengevaluasi keberhasilan hidrolika pahat dilakukan dengan menggunakan metode *Bit Hydraulic Horse Power* (BHHP). Metode BHHP sesuai digunakan untuk pemboran *vertical* dengan pertimbangan gaya gravitasi dan cenderung aliran yang digunakan laminar. Berdasarkan hasil studi kasus diperoleh bahwa pengangkatan *cutting* akan sempurna apabila aliran di annulus laminar, total kehilangan tekanan adalah 842.08 psi dimana kehilangan tekanan yang terjadi pada *Surface Connection* 6.312 psi, Pada *Drill String* 523.191 psi, Pada *Annulus* 169.305 psi, Pada *Bit* 136.955 psi. Laju alir aktual 502 gpm dengan diameter *nozzle* 6x15 tidak optimal, maka laju alir dioptimalkan menjadi 440 gpm dengan diameter *nozzle* 6x10.

Kata Kunci: *Modified power law*, *Bit hydraulic horse power*, Hidrolika lumpur pemboran, Hidrolika pahat, Tekanan

Alamat email korespondensi penulis: novrianti@eng.uir.ac.id

PENDAHULUAN

Evaluasi dan optimasi pada system hidrolika lumpur pemboran antara lain bertujuan untuk mendapatkan (*horsepower*) *bit hydraulic* maksimum, menambah gaya impak jet, meningkatkan efek pembersihan pada dasar lubang bor, dan mengangkat serbuk bor dari annulus ke permukaan sehingga dapat membantu meningkatkan laju pemboran (Guan et al., 2015). Pembersihan lubang bor dapat dilakukan dengan cara mensirkulasikan fluida pemboran. Lumpur memegang peranan penting dalam operasi pemboran terutama dalam proses pembersihan *cutting* di dasar sumur dan pengangkatan *cutting* ke permukaan (Al-Kayiem et al., 2010). Jenis lumpur pemboran yang sesuai dengan karakteristik sumur akan mendukung keberhasilan operasi pemboran terutama pada pola aliran serta kecepatan pemboran serta pengangkatan *cutting* ke permukaan (Coussot et al., 2004; Saasen et al., 2002).

Lumpur Pemboran

Lumpur pemboran merupakan faktor yang penting dalam pemboran. Kecepatan pemboran, efisiensi, keselamatan dan biaya pemboran sangat tergantung pada lumpur pemboran. (Rubiandini Rudi, 2010).

Rheology Lumpur Pemboran

Rheology (perilaku) fluida pemboran adalah suatu kondisi yang dialami oleh fluida pemboran selama proses aliran fluida berlangsung. *Rheology* lumpur pemboran meliputi sifat aliran dan jenis fluida pemboran. Sifat aliran meliputi aliran laminar dan aliran turbulen sedangkan jenis fluida pemboran meliputi fluida Newtonian dan non-Newtonian (Kelessidis, et al., 2011). *Reynold Number* digunakan dalam menentukan aliran itu laminar atau turbulen. $NRe > 3000$ menunjukkan bahwa aliran berbentuk turbulen sedangkan $NRe < 2000$ merupakan aliran laminar, dan untuk harga diantaranya memiliki pola aliran transisi.

$$NRe = \frac{928 \rho v d}{\mu} \tag{1}$$

Keterangan:

- ρ = Densitas fluida, ppg.
- v = Kecepatan aliran, fps.
- d = Diameter pipa, in.
- μ = Viskositas, cp.

Fluida pemboran *non Newtonian fluids* terdiri dari Bingham Plastic, *Power Law* dan *API modified power law*. API menerbitkan API RP 13D pada tahun 1995. Dalam publikasi ini, API merekomendasikan menggunakan model modifikasi *Power Law* untuk menghitung kehilangan tekanan pipa dan annulus. *API Power Law* mencoba untuk mencocokkan *shear rate* dari viskometer dengan *shear rate* aktualnya dalam *drillpipe* dan anulus. Di dalam *drillpipe* tersebut, RPM 300 dan 600 digunakan untuk reologi dan perhitungan kehilangan tekanan.

a. Aliran di Pipa

$$n_p = 3.32 \log \left[\frac{\theta_{600}}{\theta_{300}} \right] \tag{2}$$

$$K_p = \frac{5,11 * \theta_{600}}{1022^{n_p}} \tag{3}$$

b. Aliran di Annulus

$$n_a = 0,657 \log \left[\frac{\theta_{100}}{\theta_3} \right] \tag{4}$$

$$K_a = \frac{5,11 * \theta_{100}}{170,2^{n_a}} \tag{5}$$

Kecepatan Alir Pompa

Kemampuan pompa dibatasi oleh *horse power* maksimumnya, sehingga tekanan dan kecepatan alirnya dapat berubah-ubah seperti yang ditunjukkan dalam Persamaan :

$$HP = \frac{P \times Q}{1714} \tag{6}$$

Keterangan:

- HP = *Horse power* yang diterima pompa dari mesin penggerak setelah dikalikan efisiensi mekanis dan safety, hp.
 P = Jumlah kehilangan tekanan pemompaan, psi.
 Q = Laju sirkulasi lumpur bor, gpm.

Kecepatan Alir di *Pipe* dan *Annulus*

Pahat yang dipakai selalu menggerus batuan formasi dan menghasilkan *cutting* saat operasi pemboran berlangsung, sehingga semakin banyak pula *cutting* yang dihasilkan. *Cutting* yang dihasilkan perlu untuk segera diangkat ke permukaan agar tidak menimbulkan masalah *pipe sticking*.

Lumpur yang mengalir di dalam annulus mempunyai kecepatan alir, yang dapat diukur dengan Persamaan :

$$V_a = \frac{24.48 \times Q}{D_2^2 - D_1^2} \quad (7)$$

Keterangan :

- V_a = Kecepatan lumpur di annulus, fpm
 Q = Laju alir pompa, gpm
 D_2 = Diameter lubang bor, in
 D_1 = Diameter luar pipa bor, in

Kehilangan Tekanan pada Sistem Sirkulasi

Merupakan kehilangan tekanan sistem sirkulasi yang diberikan kepada sistem lumpur pemboran, sebagai akibat timbulnya gesekan untuk menahan aliran selama terjadinya sirkulasi yang dihasilkan oleh pompa untuk mengalirkan lumpur pemboran melalui seluruh sistem sirkulasi. Besarnya kehilangan tekanan yang terjadi pada saat sirkulasi lumpur pemboran berlangsung perlu diketahui, hal ini karena :

- Kehilangan tekanan mempengaruhi besarnya *hydraulic horse power* yang harus diberikan untuk sirkulasi lumpur.
- Kehilangan tekanan mempengaruhi hilang lumpur, gugurnya dinding lubang bor dan juga *blow out*.
- Kehilangan tekanan yang besar merugikan daya yang seharusnya diperlukan untuk pahat dan akan mempengaruhi laju penembusan.

Fluida pemboran yang paling umum digunakan adalah fluida non newtonian jenis bingham plastic. Secara garis besar kehilangan tekanan sistem sirkulasi terbagi dalam 3 bagian, yaitu: kehilangan tekanan pada *surface connection*, kehilangan tekanan di dalam pipa dan kehilangan tekanan pada pahat. Menurut Ochoa, Marilyn Viloría. (2006) Kehilangan tekanan di dalam pipa dan annulus dihitung dengan menggunakan persamaan – persamaan sebagai berikut :

- Kehilangan Tekanan dalam pipa
 - Aliran Laminer

$$f_p = \left(\frac{16}{N_{Re\ p}} \right) \quad (8)$$

$$P_p = \left(\frac{f_p * V_p^2 * \rho}{92916 * D} \right) * L \tag{9}$$

b. Aliran Turbulen

$$f_p = \left(\frac{\log n + 3,93}{\frac{50}{N_{Rep}^{\frac{1,75 - \log n}{7}}}} \right) \tag{10}$$

$$P_p = \left(\frac{f_p * V_p^2 * \rho}{92916 * D} \right) * L \tag{11}$$

Keterangan :

- f_p = Friction factor
- n = Indeks *power law*
- N_{Rep} = Bilangan Reynold di pipa
- P_p = Pressure Loss di pipa
- V_p = Kecepatan lumpur di pipa, fps
- ρ = Densitas lumpur, ppg
- D = Diameter dalam pipa bor, in
- L = Panjang, ft

b. Kehilangan Tekanan pada Annulus

a. Aliran Laminer

$$f_a = \left(\frac{24}{N_{Rea}} \right) \tag{12}$$

$$P_a = \left(\frac{f_a * V_a^2 * \rho}{92916 * (D_2 - D_1)} \right) * L \tag{13}$$

b. Aliran Turbulent

$$f_a = \left(\frac{\log n + 3,93}{\frac{50}{N_{Rea}^{\frac{1,75 - \log n}{7}}}} \right) \tag{14}$$

$$P_a = \left(\frac{f_a * V_a^2 * \rho}{92916 * (D_2 - D_1)} \right) * L \tag{15}$$

Keterangan :

- f_a = Friction factor
- n = Indeks *power law*
- N_{Rea} = Bilangan Reynold di annulus
- P_a = Pressure Loss di annulus

- V_a = Kecepatan lumpur di annulus, fps
- ρ = densitas lumpur, ppg
- D_2 = Diameter lubang bor, in
- D_1 = Diameter luar pipa, in
- L = Panjang, ft

c. Kehilangan Tekanan pada Pahat

Persamaan kehilangan tekanan di *bit* adalah :

$$P_{bit} = \left(\frac{156 * \rho * Q^2}{(D_{n1}^2 + D_{n2}^2 + D_{n3}^2 + \dots)^2} \right) \tag{16}$$

$$\% \Delta P_{bit} = \left(\frac{P_{bit}}{P_{total}} \right) * 100 \tag{17}$$

$$\% \Delta P_{bit} = \left(\frac{P_{bit}}{P_{total}} \right) * 100 \tag{18}$$

Keterangan :

$\% \Delta P_{bit}$ = *Percent pressure drop at the bit*

P_{bit} = Kehilangan tekanan di bit, psi

P_{total} = Total kehilangan tekanan,psi.

$$P_{total} = P_{SC} + P_{DP} + P_A + P_B \tag{19}$$

Keterangan :

P_{total} = Kehilangan tekanan total

P_{SC} = Kehilangan tekanan di *Surface Connection*

P_{DP} = Kehilangan tekanan di *Drill Pipe*

P_A = Kehilangan tekanan di *Annulus*

P_B = Kehilangan tekanan di *Bit*

Metode Optimasi Hidrolika Pahat

Terdapat 3 metode yang dipergunakan dalam mengoptimalkan hidrolika dimana metode satu dengan lainnya berbeda. Ketiga metode tersebut adalah *Bit Hydraulic Horse Power* (BHHP), *Bit Hydraulic Impact* (BHI), dan *Jet Velocity* (JV).

Bit Hydraulic Horse Power (BHHP)

Metode BHHP sesuai digunakan untuk pemboran vertikal dengan jenis batuan yang keras dengan pertimbangan gaya gravitasi dan cenderung aliran yang digunakan laminar. Prinsip dasar dari metode ini menganggap bahwa semakin besar daya yang disampaikan fluida terhadap batuan akan semakin besar pula efek pembersihannya, sehingga metode ini berusaha untuk mengoptimalkan *Horse Power* (daya) yang dipakai di pahat dari *horse power* pompa yang tersedia di permukaan.

a. Menghitung Koefisien Pipa

1. Menghitung koefisien *pipe* di *Drill Pipe*

$$C_{pb} = \frac{0,41}{3,25^{4,86}} + \frac{5,86}{4,276^{4,86}} \tag{20}$$

$$C_{pa} = \frac{8,17 * 2,4}{8,5 - 5 * (8,5^2 - 5^2)^2} + \frac{8,5 * 6,625}{(8,5^2 - 6,625^2)^2} \tag{21}$$

$$C_{tot} = C_{pb} + C_{pa} \tag{22}$$

$$X_{dp} = C_{tot} * L_{dp} \tag{23}$$

2. Menghitung koefisien collar di Drill Collar

$$C_{cb} = \frac{7,2}{2,75^{4,86}} \tag{24}$$

$$C_{ca} = \frac{8,6 * 2,4}{8,5 - 6,5 * (8,5^2 - 6,5^2)^2} \tag{25}$$

$$C_{tot} = C_{cb} + C_{ca} \tag{26}$$

$$X_{dc} = C_{tot} * L_{dc} \tag{27}$$

3. Menghitung koefisien pipe di HWDP

$$C_{pb} = \frac{0,41}{3^{4,86}} + \frac{5,86}{3^{4,86}} \tag{28}$$

$$C_{pa} = \frac{8,17 * 2,4}{8,5 - 5 * (8,5^2 - 5^2)^2} + \frac{8,5 * 6,625}{(8,5^2 - 6,625^2)^2} \tag{29}$$

$$C_{tot} = C_{pb} + C_{pa} \tag{30}$$

$$X_{hwdp} = C_{tot} * L_{hwdp} \tag{31}$$

4. Menghitung koefisien collar di Jar

$$C_{cb} = \frac{7,2}{2,25^{4,86}} \tag{32}$$

$$C_{ca} = \frac{8,6 * 2,4}{8,5 - 6,5 * (8,5^2 - 6,5^2)^2} \tag{33}$$

$$C_{tot} = C_{cb} + C_{ca} \tag{34}$$

$$X_{jar} = C_{tot} * L_{jar} \tag{35}$$

5. Menghitung Kecepatan fluida (V_f)

$$V_f = \frac{PV^{0,14}}{\rho} \tag{36}$$

6. Menghitung Q_{opt}

$$Q_{opt} = \frac{5,2 * P_{pump}}{0,0001 * (5 + X_{DP} + X_{DC} + X_{HWDP} + X_{JAR} * \rho * V_f)^{\frac{1}{1,86}}} \tag{37}$$

7. Menghitung *MACP* (*Max.allowable circulating pressure*)

$$MACP = 0,052 * Depth * 12,33 \tag{38}$$

8. Menghitung tekanan di *Bit*

$$P_{bit} = MACP - P_p \tag{39}$$

9. Menghitung luas *nozzle* total yang optimum dengan Persamaan:

$$An = \left[\frac{\rho \times Q_{opt}^2}{10858 \times P_b} \right]^{\frac{1}{2}} \tag{40}$$

10. Menghitung diameter nozzle yang optimum dengan Persamaan:

$$x = \left[\frac{A * 4 * 32^2}{Jumlahnozzle * \pi} \right]^{\frac{1}{2}} \tag{41}$$

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan *field Research* dimana metode pengambilan data *Daily Drilling Report* dan *Water Based Mud Report* pada sumur X diambil secara primer. Sumur yang dievaluasi dan dioptimasi adalah sumur X *hole 8^{1/2}* kedalaman 2093-5555 ft yang terdapat pada Lapangan MIR. Sebelum melakukan optimasi, evaluasi kehilangan tekanan pada sumur X dihitung terlebih dahulu dengan menggunakan persamaan 9 sampai dengan persamaan 19. Adapun data – data yang diperlukan untuk evaluasi terlihat pada table 1 dan table 2. Metode Optimasi yang digunakan pada sumur X Adalah Metode BHHP karena sesuai digunakan untuk pemboran vertikal dengan jenis batuan nya keras dengan pertimbangan gaya gravitasi dan cenderung aliran yang digunakan laminar. Adapun langkah – langkah untuk menentukan optimasi dengan metode BHHP adalah persamaan 20 -41.

Tabel 1 Data Hidrolika dan Sifat Fisik Lumpur *hole 8^{1/2}* Sumur X

Depth	Q	pc	pm	PV	R600	R300	R200	R100	R6	R3
2225	505	11.8	9.4	17	57	40	30	24	8	7
2562	509	17.5	9.5	18	58	40	28	18	9	7
2880	512	22.5	9.5	18	58	40	32	18	9	7
3435	502	19.1	9.6	19	61	42	32	20	10	9
3740	502	22.8	9.6	19	60	41	30	18	10	8
4098	502	26.6	9.65	21	65	44	31	19	9	7
4302	505	24.2	9.75	21	67	46	34	21	12	10
4530	505	23.8	9.8	21	67	46	35	20	12	10
4890	505	22.9	9.85	22	69	47	36	22	12	10
5100	521	19.3	10	22	70	48	36	22	12	10
5300	521	19.3	10	23	72	49	36	23	12	10
5493	521	19.4	10	24	74	50	35	24	12	10
5555	502	19.5	10	24	75	51	35	24	12	10

Tabel 2 Ukuran Pahat, Pipa Pemboran, Dan Selubung

Interval	(ft)	2093 – 5555	
Selubung	(in)	7	
Pahat	(in)	8 ½	
Bit sub	(in)	OD	6.625
		ID	4.25
DC & CO	(in)	OD	6.5
		ID	2.813
Jars	(in)	OD	6.25
		ID	2.25
HWDP	(in)	OD	5
		ID	3.125
Drill Pipe	(in)	OD	5
		ID	4.276

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam optimasi hidrolika lumpur pemboran, evaluasi bilangan *Reynold* di *annulus* sangat berpengaruh dalam keberhasilan pengangkatan *cutting* di *annulus*. Evaluasi hidrolika pahat operasi pemboran yang dilakukan di Sumur X lapangan MIR diawali dengan mendesain hidrolika lumpur di *annulus* menjadi 2100 *NRe* nya sehingga alirannya menjadi *laminar* agar pengangkatan *cutting* nya menjadi optimal. Nilai bilangan *Reynold* hasil analisis dan optimasi di bit sub, Drill Collar, Cross Over, Jar, Heavy Weight Drill Pipe dan Drill Pipe terdapat pada table 3 sampai dengan table 12.

Tabel 3 Analisis Bilangan *Reynold* Pipa di *Bit Sub*

Depth	Np	Kp	Vp	μep	NRep
2225	0.511	8.462	684.424	62.415	6775.784
2562	0.536	7.237	689.845	60.847	7079.906
2880	0.536	7.237	693.911	60.682	7141.091
3435	0.538	7.488	680.358	64.168	6690.858
3740	0.549	6.828	680.358	62.042	6920.172
4098	0.563	6.733	680.358	65.788	6560.177
4302	0.542	7.993	684.424	69.836	6281.246
4530	0.542	7.993	684.424	69.836	6313.457
4890	0.554	7.607	684.424	70.646	6272.926
5100	0.544	8.248	706.108	71.731	6470.849
5300	0.555	7.867	706.108	72.555	6397.327
5493	0.565	7.525	706.108	73.388	6324.716
5555	0.556	8.129	680.358	76.696	5831.236

Tabel 4 Optimasi Bilangan *Reynold Annulus* di *Bit Sub*

Depth	Na	Ka	Va	μ_{ea}	NRe_a
2225	0.352	20.159	350.525	45.503	2100
2562	0.269	23.047	282.574	37.072	2100
2880	0.269	23.047	282.574	37.072	2100
3435	0.228	31.714	292.670	38.800	2100
3740	0.231	28.028	276.217	36.619	2100
4098	0.285	22.474	290.894	38.766	2100
4302	0.212	36.178	295.819	39.831	2100
4530	0.198	37.009	285.064	38.580	2100
4890	0.225	35.404	303.950	41.345	2100
5100	0.225	35.404	301.373	41.619	2100
5300	0.238	34.679	311.038	42.954	2100
5493	0.250	33.998	320.666	44.283	2100
5555	0.250	33.998	320.666	44.283	2100

Tabel 5 Analisis Bilangan *Reynold* Pipa di *DC & CO*

Depth	Np	Kp	Vp	μ_{ep}	NRe_p
2225	0.511	8.462	1562.296	34.056	18761.745
2562	0.536	7.237	1574.671	34.248	19004.598
2880	0.536	7.237	1583.952	34.154	19168.836
3435	0.538	7.488	1553.015	36.223	17907.751
3740	0.549	6.828	1553.015	35.499	18272.965
4098	0.563	6.733	1553.015	38.281	17033.390
4302	0.542	7.993	1562.296	39.623	16726.227
4530	0.542	7.993	1562.296	39.623	16812.003
4890	0.554	7.607	1562.296	40.652	16469.946
5100	0.544	8.248	1611.795	40.788	17192.929
5300	0.555	7.867	1611.795	41.817	16769.995
5493	0.565	7.525	1611.795	42.844	16368.042
5555	0.556	8.129	1553.015	44.268	15263.773

Tabel 6 Optimasi Bilangan *Reynold Annulus* di *DC & CO*

Depth	Na	Ka	Va	μ_{ea}	NRe_a
2225	0.352	20.159	345.734	47.873	2100
2562	0.269	23.047	279.748	39.148	2100
2880	0.269	23.047	279.748	39.148	2100
3435	0.228	31.714	290.251	41.045	2100
3740	0.231	28.028	273.895	38.732	2100
4098	0.285	22.474	287.792	40.909	2100
4302	0.212	36.178	293.568	42.163	2100
4530	0.198	37.009	283.053	40.861	2100

4890	0.225	35.404	301.474	43.742	2100
5100	0.225	35.404	298.918	44.032	2100
5300	0.238	34.679	308.343	45.420	2100
5493	0.250	33.998	317.726	46.802	2100
5555	0.250	33.998	317.726	46.802	2100

Tabel 7 Analisis Bilangan Reynold Pipa di Jar

Depth	Np	Kp	Vp	μ_{ep}	NRe _p
2225	0.511	8.462	2441.956	24.537	32556.525
2562	0.536	7.237	2461.298	25.093	32428.528
2880	0.536	7.237	2475.804	25.024	32708.775
3435	0.538	7.488	2427.449	26.582	30508.530
3740	0.549	6.828	2427.449	26.242	30903.964
4098	0.563	6.733	2427.449	28.557	28546.454
4302	0.542	7.993	2441.956	29.157	28417.368
4530	0.542	7.993	2441.956	29.157	28563.098
4890	0.554	7.607	2441.956	30.144	27769.020
5100	0.544	8.248	2519.324	30.051	29175.228
5300	0.555	7.867	2519.324	31.034	28250.702
5493	0.565	7.525	2519.324	32.018	27382.558
5555	0.556	8.129	2427.449	32.879	25693.046

Tabel 8 Optimasi Bilangan Reynold Annulus di Jar

Depth	Na	Ka	Va	μ_{ea}	NRe _a
2225	0.352	20.159	337.157	52.521	2100
2562	0.269	23.047	274.664	43.241	2100
2880	0.269	23.047	274.664	43.241	2100
3435	0.228	31.714	285.889	45.482	2100
3740	0.231	28.028	269.706	42.907	2100
4098	0.285	22.474	282.216	45.131	2100
4302	0.212	36.178	289.503	46.776	2100
4530	0.198	37.009	279.418	45.378	2100
4890	0.225	35.404	297.007	48.481	2100
5100	0.225	35.404	294.489	48.802	2100
5300	0.238	34.679	303.484	50.293	2100
5493	0.250	33.998	312.429	51.775	2100
5555	0.250	33.998	312.429	51.775	2100

Tabel 9 Analisis Bilangan *Reynold* Pipa di *HWDP*

Depth	Np	Kp	Vp	μ_{ep}	NRe _p
2225	0.511	8.462	1265.910	39.742	14472.184
2562	0.536	7.237	1275.937	39.651	14775.971
2880	0.536	7.237	1283.457	39.543	14903.665
3435	0.538	7.488	1258.390	41.906	13933.576
3740	0.549	6.828	1258.390	40.928	14266.781
4098	0.563	6.733	1258.390	43.946	13356.123
4302	0.542	7.993	1265.910	45.781	13031.130
4530	0.542	7.993	1265.910	45.781	13097.957
4890	0.554	7.607	1265.910	46.801	12877.714
5100	0.544	8.248	1306.018	47.101	13402.307
5300	0.555	7.867	1306.018	48.123	13117.612
5493	0.565	7.525	1306.018	49.143	12845.189
5555	0.556	8.129	1258.390	50.924	11943.871

Tabel 10 Optimasi Bilangan *Reynold Annulus* di *HWDP*

Depth	Na	Ka	Va	μ_{ea}	NRe _a
2225	0.352	20.159	306.837	74.352	2100
2562	0.269	23.047	256.401	62.791	2100
2880	0.269	23.047	256.401	62.791	2100
3435	0.228	31.714	270.102	66.843	2100
3740	0.231	28.028	254.558	62.996	2100
4098	0.285	22.474	262.244	65.236	2100
4302	0.212	36.178	274.750	69.055	2100
4530	0.198	37.009	266.193	67.248	2100
4890	0.225	35.404	280.832	71.308	2100
5100	0.225	35.404	278.451	71.780	2100
5300	0.238	34.679	285.930	73.708	2100
5493	0.250	33.998	293.335	75.617	2100
5555	0.250	33.998	293.335	75.617	2100

Tabel 11 Analisis Bilangan *Reynold* Pipa di *DP*

Depth	Np	Kp	Vp	μ_{ep}	NRe _p
2225	0.511	8.462	676.126	62.976	6674.556
2562	0.536	7.237	681.481	61.367	6977.336
2880	0.536	7.237	685.498	61.199	7037.634
3435	0.538	7.488	672.109	64.713	6594.209
3740	0.549	6.828	672.109	62.556	6821.572
4098	0.563	6.733	672.109	66.316	6468.315
4302	0.542	7.993	676.126	70.423	6190.979

4530	0.542	7.993	676.126	70.423	6222.727
4890	0.554	7.607	676.126	71.225	6184.069
5100	0.544	8.248	697.547	72.332	6378.066
5300	0.555	7.867	697.547	73.148	6306.855
5493	0.565	7.525	697.547	73.974	6236.455
5555	0.556	8.129	672.109	77.321	5748.893

Tabel 12 Optimasi Bilangan *Reynold Annulus* di *DP*

Depth	Na	Ka	Va	μ_{ea}	NRe _a
2225	0.352	20.159	306.837	74.352	2100
2562	0.269	23.047	256.401	62.791	2100
2880	0.269	23.047	256.401	62.791	2100
3435	0.228	31.714	270.102	66.843	2100
3740	0.231	28.028	254.558	62.996	2100
4098	0.285	22.474	262.244	65.236	2100
4302	0.212	36.178	274.750	69.055	2100
4530	0.198	37.009	266.193	67.248	2100
4890	0.225	35.404	280.832	71.308	2100
5100	0.225	35.404	278.451	71.780	2100
5300	0.238	34.679	285.930	73.708	2100
5493	0.250	33.998	293.335	75.617	2100
5555	0.250	33.998	293.335	75.617	2100

Kehilangan tekanan lumpur pemboran yang diperoleh di *Surface Connection* sebesar 6,312 psi, di *Drill String* 523,191 psi, di *Annulus* 169,308 psi, di *Bit* 136,955 psi, serta total kehilangan tekanan 842,08 psi dan pada sistem (*parasitic pressure loss*) yang merupakan jumlah total kehilangan tekanan dari kehilangan tekanan pada *surface connection*, kehilangan tekanan di *drill string* dan kehilangan tekanan pada *annulus* dimana didapatkan hasil perhitungan $P_p \text{ hole } 8^{1/2}$ sebesar 705,125 psi. Kehilangan tekanan ini menjadi acuan dalam melakukan optimasi pada laju alir pompa.

Optimasi hidrolika pahat berkaitan dengan tekanan yang dihasilkan pompa dipermukaan dengan ketentuan tidak melebihi tekanan maksimum pompa agar tidak terjadi problem atau kerusakan pada pompa yang digunakan. Metode yang digunakan dalam mengevaluasi keberhasilan hidrolika pahat dilakukan dengan menggunakan metode *Bit Hydraulic Horse Power* (BHHP). Konsep BHHP menganggap bahwa semakin besar daya yang disampaikan fluida pemboran terhadap batuan maka akan semakin besar pula efek pembersihannya dan sering digunakan untuk formasi keras. Optimasi dilakukan dengan mengatur besarnya tekanan pompa (P), pahat (Pb) dan laju aliran (Q) sehingga bisa dihasilkan kondisi yang optimum. Metode BHHP sesuai digunakan untuk pemboran *vertical* dengan pertimbangan gaya gravitasi dan cenderung aliran yang digunakan laminar. Prinsip dasar dari metode ini menganggap bahwa semakin besar daya yang disampaikan fluida terhadap batuan akan semakin besar pula efek pembersihannya, sehingga metode ini berusaha untuk mengoptimalkan *Horse Power* (daya) yang dipakai di pahat dari *horse power* pompa yang tersedia di permukaan.

Pelaksanaan hidrolika pahat pada *hole* 8^½ dengan laju alir 502 gpm dan diameter nozzle 6x15 menunjukkan hidrolika belum optimum. Untuk mencapai kondisi optimum metode BHHP dengan mengubah laju alirnya menjadi 440 gpm dengan menggunakan kombinasi nozzle 6x10. Hasil Perhitungan Data Optimasi Hidrolika Dengan Metode BHHP Pada *hole* 8^½ Sumur X dapat dilihat pada table 13 di bawah ini:

Tabel 13 Hasil Perhitungan Data Optimasi Hidrolika Dengan Metode BHHP Pada *hole* 8^½ Sumur X

Depth	MACP	Pb	A	D nozzle
2225	1426.6	875.587	0.3973	13.1431
2562	1642.7	1096.194	0.372	12.7188
2880	1846.5	1293.122	0.3516	12.3654
3435	2202.4	1614.599	0.3093	11.5979
3740	2397.9	1815.680	0.3006	11.4325
4098	2627.5	2018.991	0.2718	10.8717
4302	2758.3	2131.290	0.2736	10.9077
4530	2904.5	2278.933	0.262	10.6731
4890	3135.3	2481.360	0.2553	10.5367
5100	3269.9	2600.585	0.2579	10.5903
5300	3398.1	2716.238	0.2487	10.398
5493	3521.9	2817.466	0.2552	10.5338
5555	3561.6	2856.520	0.2508	10.4426

KESIMPULAN

- Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh kehilangan tekanan:
 - Pada *Surface Connection* 6,312 psi
 - Pada *Drill String* 523,191 psi
 - Pada *Annulus* 169,305 psi
 - Pada *Bit* 136,955 psi
 - Total kehilangan tekanan 842,08 psi
- Laju alir aktual 502 gpm dengan diameter nozzle 6x15 tidak optimal, oleh karena itu dioptimalkan menjadi 440 gpm dengan diameter nozzle 6x10.

DAFTAR PUSTAKA

- Adam, N.J. (1985). *Drilling Engineering, A Complete Well Planning Approach*. Tulsa, Oklahoma: Pen Well Publishing
- Al-Kayiem, H. H., Zaki, N. M., Asyraf, M. Z., & Elfeel, M. E. (2010). Simulation of the Cuttings Cleaning During the Drilling Operation. *American Journal of Applied Sciences*, 7(6), 800–806.
- American Petroleum Institute. (1995). *Recommended Practice on the Rheology and Hydraulics of Oil-Well Drilling Fluids*. API RP 13D, Fourth Edition.
- Coussot, P., Bertrand, F., & Herzhaft, B. (2004). Rheological Behavior of Drilling Muds, Characterization Using MRI Visualization. *Oil & Gas Science and Technology – Rev. IFP*, 59(1), 23–29.

- Guan, Z., Liu, Y., Li, Q., Xu, Y., & Pang, H. (2015). Drilling Hydraulic Parameters Design Method under the Limited Circulating System Bearing Capacity Condition. *Journal of Applied Science and Engineering*, 18(3), 303–308.
- Herianto. Dkk (2001) Optimasi Hidrolika Pada Penggunaan *Down Hole Mud Motor* (DHMM) dengan Konsep *Minimum Annular Velocity* untuk Pemboran Sumur-Sumur Berarah Proceeding Simposium Nasional IATMI, Yogyakarta, 3-5 Oktober 2001.
- Noah, A. Z. (2013). Optimizing Drilling Fluid Properties and Flow Rates for Effective Hole Cleaning at High-Angle and Horizontal Wells. *Journal of Applied Sciences Research*, 9(1), 705–718.
- Ochoa, Marilyn Vilorio. (2006). *Analysis of Drilling Fluid Rheology and Tool Joint Effect to Reduce Errors in Hydraulic Calculations*. Texas: Texas A&M University
- Rudi Rubiandini R.S (2010) Diktat Kuliah Teknik dan Alat Pemboran. Bandung
- Saasen, A., & Løklingholm, G. (2002). The Effect of Drilling Fluid Rheological Properties on Hole Cleaning. In *IADC / SPE 74558 Drilling Conference* (pp. 1–5). Texas.
- Scheld, C.M. dkk (2011). Hydraulic Study of Drilling Fluid Flow in Circular and Annular Tubes. *Brazilian Journal of Petroleum and Gas*.