

# ANALISIS PEMOTONGAN PIPA PRODUKSI SUMUR MINYAK DENGAN TEKNIK HYDRAJETTING MENGGUNAKAN FLUIDA ABRASIF DAN POMPA BERTEKANAN TINGGI

Komarudin<sup>1</sup>, Taufik Rachmat Rakean Kalangsunda<sup>2</sup>  
Program Studi Teknik Mesin, Institut Sains dan Teknologi Nasional<sup>1 2</sup>  
email<sup>1</sup> : komarudin.mt@gmail.com

---

## Abstract

An oil production well own by Company X had its production declined due to the impact of corrosion and scaling issues which happened on the production tubing. To solve the problem, an immediate action was made to replace the production tubing through a Hydrjetting cutting process which combining the abrasive fluid and high pressure pump application. The scope of subject were limited to process analyzing and calculation which happened during the production tubing cutting process. Analysis was done through fluid mechanic principle with the usage of the Energy Conservation Theory to get an accurate result of a successful Hydrjetting cutting process for production tubing. Analysis method was used to calculate all the data which includes fluid velocity, pressure, energy, and all the other related factors. The result of the calculation will be compared to the Hydrjetting recommendation standard. The result from the analysis will prove and explain a successful Hydrjetting cutting process for production tubing and provide a quality measured solution to solve the problem happened on the oil production well due to damage occurred on its production tubing.

Kata kunci: Energy Conservation Theory, Hydrjetting, Abrasive Fluid

---

## PENDAHULUAN

Minyak bumi merupakan sumber komoditas yang sangat penting bagi kehidupan manusia mulai zaman dahulu sampai saat ini. Kawasan Timur Tengah merupakan penghasil minyak bumi terbesar dari keseluruhan produksi dunia. Suatu sumur produksi milik Perusahaan X di kawasan ini mengalami penurunan produksi yang diakibatkan oleh permasalahan korosi dan scaling yang terjadi pada pipa produksinya. Untuk mengembalikan hasil produksi pada targetnya maka dilakukan perbaikan berupa penggantian pipa produksi yang baru. Pada tahap penggantian dilakukan

proses pemotongan terlebih dahulu dimana pipa produksi sumur dipotong menjadi dua bagian. Bagian pipa produksi yang mengalami kerusakan selanjutnya akan dicabut ke permukaan dan dipasang pipa yang baru. Proses pemotongan pipa produksi ini dilakukan dengan teknik Hydrjetting dengan menggunakan fluida abrasif dan pompa bertekanan tinggi

## TINJAUAN PUSTAKA

Sumur produksi adalah sumur yang menghasilkan sesuatu yang bernilai atau bermanfaat

seperti minyak bumi, gas bumi, panas bumi, air, mineral atau komponen-komponen lain yang berasal dari dalam perut bumi. Proses produksi sumur dapat terjadi secara alami atau *artificial lift*. Aliran produksi alami dapat terjadi karena tekanan dari dalam bumi cukup besar untuk melawan tekanan hidrostatik fluida dalam sumur sehingga terjadi aliran deposit dari reservoir sampai ke permukaan. Proses produksi secara *artificial lift* membutuhkan alat berupa pompa untuk mengalirkan deposit ke permukaan. Hal ini dikarenakan tekanan dari dalam bumi tidak cukup untuk melawan tekanan hidrostatik fluida dalam sumur. Suatu sumur produksi terdiri dari beberapa komponen yaitu kepala sumur atau *wellhead*, pipa *casing*, pipa produksi, perforasi, semen, *packer*, pompa dan macam macam aksesoris yang lain.

## *Wireline Logging CAST Ultrasonic Tubing And Casing Evaluation*

Pemeriksaan terhadap pipa produksi dilakukan melalui metode *Wireline Logging CAST Ultrasonic Tubing and Casing Evaluation* yang menggunakan teknologi *ultrasonic* untuk mendeteksi ketebalan pipa produksi yang ada didalam sumur. Alat *CAST* dihantarkan ke dalam pipa produksi sumur dan akan memberikan data terjadinya korosi yang dapat berakibat munculnya lubang atau kebocoran pada

pipa produksi. Selain itu alat ini juga menghasilkan model secara 3-Dimensi yang memperlihatkan area pipa yang mengalami penipisan ketebalan.

**Alat-alat yang digunakan pada proses pemotongan pipa produksi sumur dengan teknik *Hydrajetting***

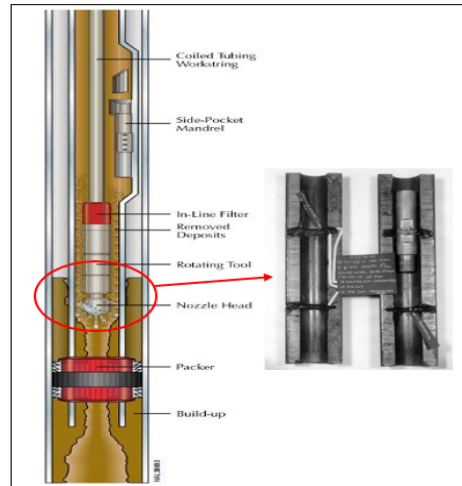
1. **Coiled Tubing** berfungsi untuk menghantarkan suatu alat atau fluida pada kedalaman yang ditentukan.
2. **Unit Coiled Tubing**, berfungsi untuk menghantarkan pipa *coiled tubing* masuk ke dalam dan keluar sumur untuk melakukan pekerjaan peningkatan produksi sumur.
3. **Pompa Bertekanan Tinggi** berfungsi untuk mendorong fluida abrasif ke dalam pipa *coiled tubing* hingga keluar dari nozel dan kembali ke permukaan.
4. **Alat *HydraBlast*<sup>TM</sup>** adalah alat yang dirancang untuk aplikasi *coiled tubing* yang memiliki lubang nozel yang kecil pada kepala potong (*cutting head*) yang dapat berputar. Fluida yang dialirkan oleh pompa bertekanan tinggi dan keluar dari lubang nozel yang kecil akan memiliki tekanan dan energi yang cukup besar.
5. **Retrivable Bridge Plug Packer** adalah sebuah alat yang digunakan untuk mengisolasi produksi sumur. Pada alat ini terdapat elemen karet yang akan menempel pada permukaan dalam pipa produksi dan menahan aliran produksi ke permukaan. *Retrivable Bridge Plug Packer* akan dipasang di bawah area pipa produksi yang mengalami kerusakan untuk mengisolasi sementara produksi minyak dari dalam bumi sampai penggantian pipa produksi yang baru sudah selesai.

**Prosedur Teknik *Hydrajetting***

1. Pasang alat *HydraBlast*<sup>TM</sup> pada pipa *coiled tubing*. Lakukan pemompaan guna menguji coba fungsi putaran dan amati fluida yang keluar dari setiap nozel yang terdapat pada kepala (*head*) *HydraBlast*<sup>TM</sup>. Monitor dan catat tekanan pompa dan laju aliran fluida.
2. Buka *valve* kepala sumur dan hantarkan alat *HydraBlast*<sup>TM</sup> pada kedalaman yang telah ditentukan. Monitor selalu tekanan sumur, berat dan tekanan dalam pipa *coiled tubing* saat proses penghantaran.
3. Setelah alat *HydraBlast*<sup>TM</sup> sampai pada kedalaman yang diinginkan, mulai pompakan fluida abrasif melalui pipa *coiled tubing*. Monitor tekanan pompa, tekanan *coiled tubing* dan tekanan sumur.
4. Pada saat fluida abrasif mencapai kepala (*cutting head*) maka kepala *HydraBlast*<sup>TM</sup> akan berputar dan fluida abrasif akan disemburkan keluar dari

nozel dengan tekanan tinggi. Fluida abrasif yang keluar dari nozel tersebut akan mengenai permukaan dalam pipa produksi dan melakukan proses pengikisan hingga akhirnya terjadi pemotongan.

5. Setelah seluruh fluida abrasif telah habis dipompakan, pipa *coiled tubing* beserta alat *HydraBlast*<sup>TM</sup> akan dicabut kembali ke permukaan.

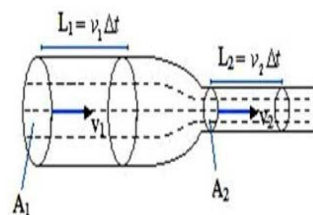


**Gambar 7.** Proses Pemotongan Pipa.

6. Selanjutnya diteruskan dengan kegiatan *rig workover* untuk mencabut pipa yang sudah dipotong dan mengganti dengan pipa produksi yang baru. Kemudian *Retrivable Bridge Plug Packer* akan dicabut sehingga sumur dapat berproduksi kembali.

**Persamaan Kontinuitas**

Persamaan kontinuitas adalah persamaan yang menghubungkan kecepatan fluida dari satu tempat ke tempat lain. Kecepatan fluida akan berubah seiring dengan perubahan diameter atau luas penampang saluran yang dilewatinya.



**Gambar 8.** Aliran fluida dalam pipa

**Rumus :** 
$$m_1 = m_2$$

$$\rho_1 A_1 V_1 = \rho_2 A_2 V_2$$

Dimana :

- $m$  = Laju aliran massa ( $kg/s$ )
- $\rho$  = Kerapatan fluida ( $kg/m^3$ )
- $A$  = Luas penampang ( $m^2$ )
- $V$  = Kecepatan aliran fluida ( $m/s$ )

Perkalian antara luas penampang dan kecepatan fluida pada setiap titik sepanjang tabung aliran adalah konstan.

Karena,  $Q = A \times V$  adalah konstan maka persamaan kontinuitas dapat berbentuk :

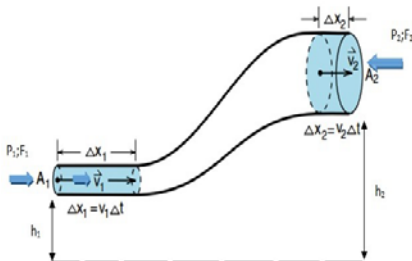
$$m = \rho_1 \times Q_1 = \rho_2 \times Q_2$$

Dimana :

$$Q = \text{Debit} / \text{Kapasitas (m}^3/\text{s)}$$

### Teori Konservasi Energi

Hukum *Bernoulli* mengatakan bahwa jika aliran fluida bertambah maka tekanan dalam fluida menjadi berkurang. Dengan adanya perbedaan tekanan maka fluida akan mengalir. Adanya tekanan dan kecepatan ini maka dapat dihitung energi yang terjadi pada aliran. Teori ini yang dinamakan Teori Konservasi Energi. Perbedaan ketinggian atau elevasi akan mempengaruhi energi yang dihasilkan. Pada aliran fluida dalam suatu saluran pipa berlaku hukum kekekalan energi.



**Gambar 9.** Persamaan Energi *Bernoulli*

**Rumus :**

$$\frac{P}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} + y = \text{konstan (Persamaan Bernoulli)}$$

Dimana :

$\frac{P}{\gamma}$  = energi tekanan .... (*Static Pressure*)

$\frac{v^2}{2g}$  = energi kinetik .... (*Dinamic Pressure*)

y = energi potensial .... (*Hydrostatic Pressure*)

### Energi Aktual Yang Timbul Pada Aliran

Pada kasus fluida yang mengalir dalam pipa, perhitungan energi tidak cukup hanya dengan menggunakan persamaan *Bernoulli*. Oleh karena itu untuk mendapatkan perhitungan yang tepat maka persamaan *Bernoulli* harus diubah atau disesuaikan.

$$\text{Rumus : } \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + y_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + y_2 + H_L$$

$H_L$  = kehilangan energi atau rugi-rugi

**Rumus :**  $H_L = H_{\text{major}} + H_{\text{minor}}$

$H_{\text{maj}}$  = rugi-rugi besar (*Major Losses*)

$H_{\text{min}}$  = rugi-rugi kecil (*Minor Losses*)

- Rugi-rugi Besar (*major losses*) disebabkan oleh gesekan fluida dengan permukaan dinding dalam pipa.

$$\text{Rumus : } H_{\text{maj}} = f \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2g}$$

Pengaruh kekasaran permukaan f ditentukan oleh kondisi aliran didalam saluran atau pipa. Kondisi aliran ini ditentukan oleh bilangan *Reynold* (Re)

$$\text{Rumus : } Re = \frac{VD\rho}{\mu}$$

Dimana:

f = koefisien gesek / kekasaran permukaan

L = panjang pipa (m)

D = diameter pipa (m)

V = kecepatan aliran (m/s)

$\rho$  = kerapatan (kg/m<sup>3</sup>)

$\mu$  = viskositas dinamik fluida (N.s/m<sup>2</sup>) atau (kg/m.s)

Tipe aliran fluida :

- Laminer .....  $Re < 2300 - 4000$

Aliran laminer adalah aliran fluida yang relatif mempunyai kecepatan rendah dan fluidanya bergerak sejajar.

Koefisiensi gesek f Laminer

$$\text{Rumus: } f = \frac{64}{Re}$$

- Turbulen .....  $Re > 2300$

Aliran turbulen adalah aliran fluida yang partikel-partikelnya bergerak secara acak dan tidak stabil dengan kecepatan berfluktuasi yang saling interaksi.

Besarnya f menurut *Haaland*

**Rumus :**

$$\frac{1}{f^{1/2}} = -1.8 \log \left[ \frac{6.9}{Re} + \left( \frac{\epsilon/D}{3.7} \right)^{1.11} \right]$$

Besarnya f menurut *C.F. Coolebrook*

$$\text{Rumus : } \frac{1}{f^{1/2}} = -2 \log \left[ \frac{6.9}{Re} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right]$$

Dimana

$\epsilon$  = tinggi kekasaran permukaan

D = Diameter saluran

- Rugi-rugi kecil (*Minor losses*) terjadi karena saat fluida mengalir melalui suatu profil berupa perbedaan diameter, lubang, belokan, persimpangan, katup, dll. Untuk menentukan besarnya rugi-rugi kecil harus menghitung rugi-rugi di setiap profil dan menjumlahkannya menjadi total rugi-rugi kecil.

$$\text{Rumus : } H_{\text{min}} = K_L \times \frac{v^2}{2g}$$

Dimana :

$K_L$  = Koefisien Hilang

$V$  = Kecepatan Aliran (m/s)

$g$  = Gaya Grafitasi (9,81 m/s<sup>2</sup>)

Dengan adanya kehilangan atau rugi-rugi yang terjadi pada aliran maka secara lengkap rumus *Bernoulli* yang disesuaikan menjadi :

**Rumus :**

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + y_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + y_2 + \frac{V^2}{2g} \left( f \times \frac{L}{D} + K_L \right)$$

### Kecepatan Dan Laju Aliran Pada Nozel

Pada sistem aliran dalam keadaan tertutup, untuk menghitung laju aliran maka digunakan rumus *Bernoulli* pada prinsip laju aliran horizontal

$$\text{Rumus : } Q = A_2 \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho \left[ 1 - \left( \frac{A_2}{A_1} \right)^2 \right]}}$$

Dimana :

$Q$  = debit / kapasitas (m<sup>3</sup>/s)

$A$  = luas penampang saluran / pipa (m<sup>2</sup>)

$V$  = kecepatan aliran (m/s)

$\rho$  = kerapatan (kg/m<sup>3</sup>)

$P$  = tekanan (Pa atau N/m<sup>2</sup>)

**Jetting Pressure** (*HydraJetting Playbook, Sharlene Lindsay,2011*)

*Jetting Pressure* adalah tekanan yang terjadi pada saat aliran melewati nozel dan dipengaruhi oleh rugi-rugi.

$$\text{Rumus : } P_{\text{Jet}} = \frac{P_{\text{nozel}} \times A_{\text{HydraBlast}}}{A_{\text{Nozel}}} - P_{\text{min}}$$

Dimana :

$P_{\text{jet}}$  = *jetting pressure* atau tekanan jet (psi)

$P_{\text{nozel}}$  = tekanan pada nozel (psi)

$A$  = luas penampang (inches<sup>2</sup>)

$P_{\text{min}}$  = rugi-rugi minor pada nozel

**Gaya (Force) Jetting** (*HydraJetting Playbook, Sharlene Lindsay,2011*)

*Jetting Force* merupakan gaya yang terjadi akibat dari aliran yang bertekanan dan kecepatan aliran pada nozel

$$\text{Rumus : } F_{\text{Jetting}} = \frac{Q_{\text{Jet}}}{\text{ml nozel}} \times P_{\text{Jet}} \times V$$

Dimana :

$F_{\text{jet}}$  = gaya yang terjadi pada saat *jetting*

$Q_{\text{jet}}$  = debit aliran pada saat *jetting* (gal/min)

$P_{\text{Jet}}$  = *jetting pressure* (psi)

$V$  = kecepatan aliran keluar dari nozel (ft/s)

**Slip Velocity** (*HydraJetting Playbook, Sharlene Lindsay,2011*)

*Slip velocity* atau kecepatan gelincir adalah perbedaan kecepatan antara 2 zat yang berbeda (padat dan cair) dalam suatu campuran yang mengalir secara vertikal dalam suatu pipa.

**Rumus :**

$$SV = \frac{175 \times PD \times (\rho_{\text{partikel}} - \rho_{\text{cairan}})^{0.667}}{\rho_{\text{cairan}}^{0.333} \times cp^{0.333}}$$

Dimana :

$SV$  = *slip velocity* (ft/min)

175 = konstanta

$PD$  = diameter partikel (inches)

$\rho_{\text{partikel}}$  = kerapatan partikel (lbm/gal)

$\rho_{\text{cairan}}$  = kerapatan cairan (lbm/gal)

$Cp$  = viskositas cairan (cp)

**Annular Velocity** (*HydraJetting Playbook, Sharlene Lindsay,2011*)

*Annular velocity* atau kecepatan anulus adalah kecepatan aliran fluida dalam annulus. Anulus sendiri diartikan sebagai daerah atau area yang terdapat diantara dua pipa. Berikut adalah rumus rekomendasi *annular velocity* dengan pertimbangan *slip velocity*.

**Rumus : AV = SV × SF**

Dimana :

$AV$  = *annular velocity* (ft/s)

$SV$  = *slip velocity* (ft/min)

$SF$  = *safety factor* (rekomendasi  $SF = 5$ )

**Tekanan Burst (Burst Pressure) dan Gaya Burst (Burst Force)**

*Burst* adalah suatu keadaan dimana tekanan di dalam pipa lebih besar dari tekanan di luar pipa. Tekanan *burst* yang berlebih dapat mengakibatkan pipa menjadi mengembang (*ballooning*) bahkan pecah. Pada perhitungan tekanan *Burst* terdapat harga *MTS* (*minimum tensile strength*) yang didapat dari tabel pipa standard API. *Burst Force* atau gaya *burst* adalah gaya yang dibutuhkan untuk membuat pipa menjadi rusak.

**Rumus Barlow :**

$$P_{\text{burst pipa}} = \frac{2 \times MTS \times t}{d \times SF}$$

$$F_{\text{burst pipa}} = P_{\text{burst pipa}} \times A_{\text{Nozel}}$$

Dimana :

$P_{\text{burst pipa}}$  = tekanan *burst* pipa (psi)

$MTS$  = *Minimum Tensile Strength* (psi)

$t$  = ketebalan dinding pipa (inches)

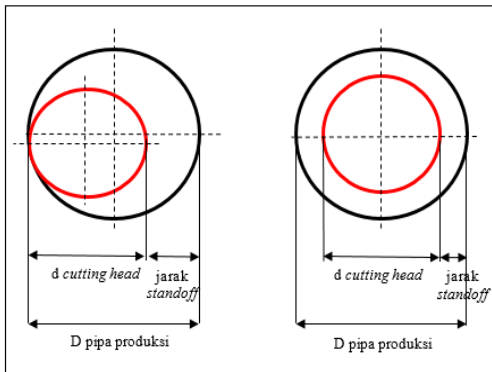
$d$  = diameter dalam pipa (inches)

$SF$  = *Safety Factor* = 1 - 1.5

$A$  = luas nozel (mm)

**Standoff** (*HydraJetting Playbook, Sharlene Lindsay,2011*)

*Standoff* merupakan jarak penyimpangan antara dua posisi kesumbuan. Kondisi *standoff* akan berpengaruh pada lebar jarak nozel dengan target yang akan mempengaruhi *jetting force* yang diterima oleh target.



**Gambar 11.** Kondisi Standoff

Pada kondisi *cutting head* menempel pada dinding pipa produksi

**Rumus :**

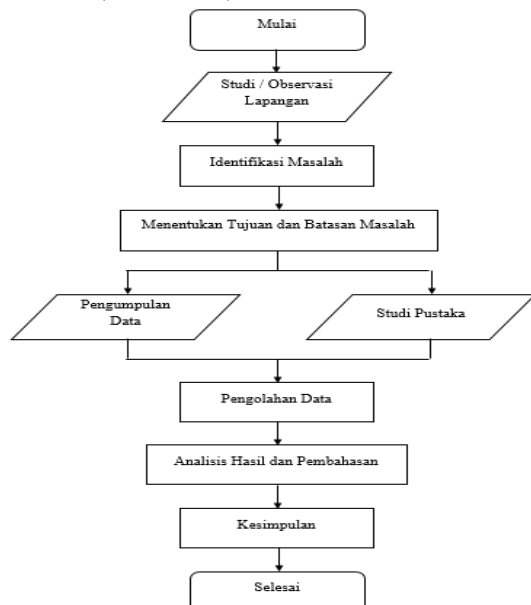
**Jarak Standoff = D pipa produksi – d cutting head**

Pada kondisi sumbu *cutting head* berada sesumbu dengan sumbu pipa produksi

**Rumus :**

**Jarak Standoff = (D pipa produksi – d cutting head) / 2**

## METODE PENELITIAN



**Gambar 12.** Diagram alir penelitian

### Prosedur Pengumpulan Data

Data data yang diambil dan dikumpulkan di lapangan merupakan data *real time* dimana data

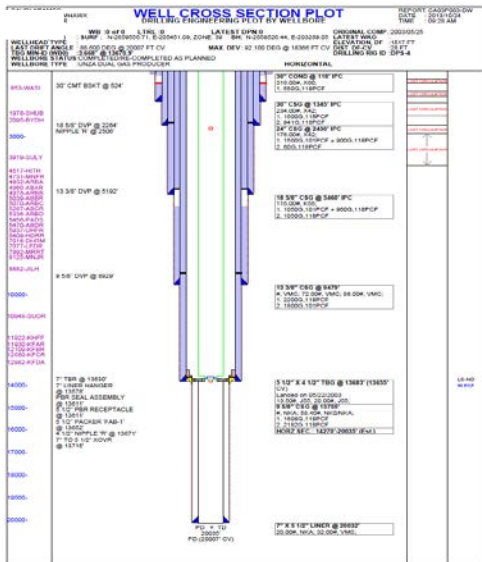
terjadi pada saat proses pemotongan pipa produksi berlangsung.

- **Data tekanan** diukur menggunakan alat *pressure transducer* yang dipasang pada pompa dan kepala sumur. Proses pengambilan data tekanan ini dilakukan dengan cara memompakan fluida gel pada kedalaman potong dengan laju aliran yang berbeda-beda dan memonitor tekanan yang terjadi pada pompa, pipa *coiled tubing* dan kepala sumur. Data tekanan diamati pada monitor yang terdapat pada *control cabin* dan pompa.
- **Data debit aliran** diukur dengan menggunakan alat *flow meter* dan *magnetic pick up*. Pengambilan data debit ini dilakukan dengan cara memompakan fluida gel ke dalam instalasi. Data debit aliran diamati pada monitor yang terdapat pada *control cabin* dan pompa.
- **Data viskositas fluida** dilakukan dengan pengukuran langsung di lapangan. Fluida yang telah dicampur di tangki dalam bentuk gel diambil sampelnya dan di test menggunakan alat *Fann 35 Viscometer* untuk mendapatkan kekentalan.

### Spesifikasi Data

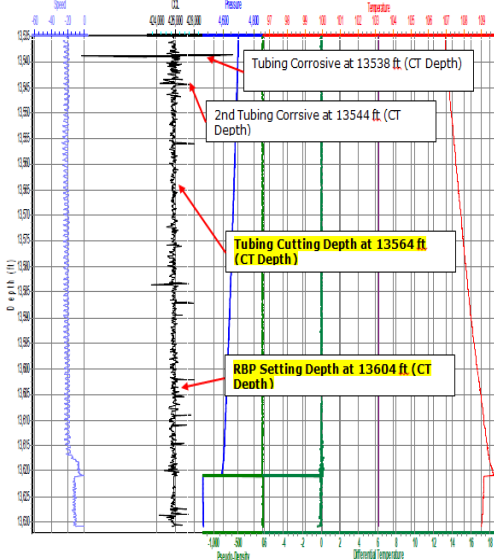
Data Sumur	
Nama Sumur	: GHZL 7
Lokasi	: Ghazal Field - Saudi Arabia
Kedalaman total	: 20035 ft (6107 m)
Tipe Completion	: Vertical cased hole oil producer
Pipa Casing	: 9-5/8", 53.50#, NKA; 58.40#, V10 @ 0 - 13755 ft
Pipa Liner	: 5-1/2", NKA, 20.00# @20032ft TOL @ 13611ft.
Pipa Produksi (Tubing)	: 4-1/2" 13.50# VMS Blue Series N-80™
Restriksi Sumur	: 3.671" – R Nipple @ 13715 ft (4180 m)
BHST	: 281 °F (Bottom Hole Static Temperature)
Tekanan Reservoir	: 4800 psi (3.309 x 10 <sup>7</sup> N/m <sup>2</sup> )
H2S	: 5%
CO2	: Tidak ada
Fluida pada TCA	: Diesel SG 0.893

**Gambar 13.** Data Sumur



Gambar 14. Skematik sumur

Data Kedalaman Posisi Potong Berdasarkan Data CAST Ultrasonic



Gambar 15. Data CAST

Dari data CAST ditetapkan posisi untuk meletakkan *Retrievable Bridge Plug* pada kedalaman 13604 ft (4147 m), dan untuk posisi kedalaman pipa produksi yang akan di potong pada kedalaman 13564 ft (4134 m)

Data Pipa Produksi Yang Akan Dipotong

Pipa 4 1/2 " 13.50# VMS Blue Series N 80™

Penjelasan :

4 1/2 " : pipa OD 4.5 inch (114.3 mm)

ID 3.92 inch = 99.56 mm

13.5 : berat pipa 13.5 lb/ft (20 kg/m)

N-80 : material pipa

MTS \* : 100000 psi

Tabel 1. Tabel API Steel Grades

API Grade	Yield Stress, psi		Minimum Ult. Tensile, psi	Minimum Elongation, %
	Minimum	Maximum		
H-40	40,000	80,000	60,000	29.5
J-55	55,000	80,000	75,000	24.0
K-55	55,000	80,000	95,000	19.5
N-80	80,000	110,000	100,000	18.5
L-80	80,000	95,000	95,000	19.5
C-90	90,000	105,000	100,000	18.5
C-95	95,000	110,000	105,000	18.5
T-95	95,000	110,000	105,000	18.0
P-110	110,000	140,000	125,000	15.0
Q-125	125,000	150,000	135,000	18.0

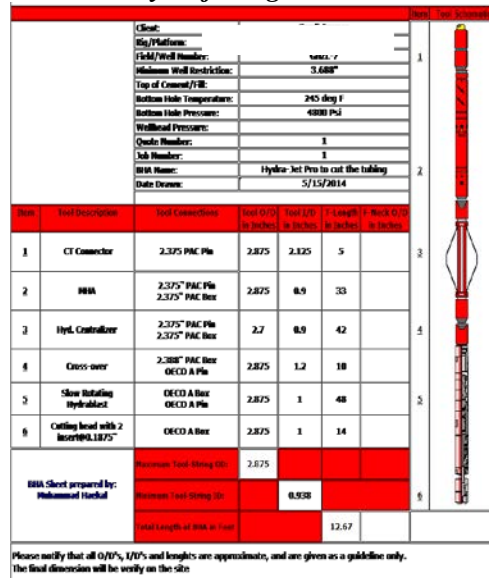
Data Pipa Coiled Tubing

Diameter Luar (OD) : 2 inch (50,8 mm)

Diamter Dalam (ID) : 1.782 in (45.3 mm)

Panjang (L) : 20350 ft (6206,7 m)

Skematik Alat Hydrjetting



Gambar 16. Skematik Alat Hydrjetting

Ukuran Cutting Head : 2.875 inch (73 mm)

Ukuran nozel : 0.1875 inch (4.76 mm)

Panjang alat : 12.67 ft = 3.86 m

Diameter dalam (rata-rata): 1 inch = 25.4 mm

Fluida Abrasif

- Jenis Fluida : *Viscosified Water / Water Based Fluid Gel*

Kerapatan Fluida : 8.34 PPG = 1000 kg/m<sup>3</sup>

*Specific Gravity (SG)* : 1

Viskositas Fluida: 20 cp ~ 0.02 Pa.s

- Jenis Pasir (*Proppant*) : 12/20 Ottawa Sand

Ukuran pasir : 0.0496 in (1.26 mm)

Konsentrasi *Proppant* : 1 PPA (*lbs/added*)

Kerapatan *Proppant* : 22.1 PPG

*Specific Gravity (SG)* : 2.65

Data Debit Aliran vs Tekanan Pompa

Data debit aliran dan tekanan pompa aktual yang diambil di lapangan pada saat pengetesan alat *HydraBlast™* di dalam sumur pada kedalaman potong sebelum proses pemotongan dilakukan.

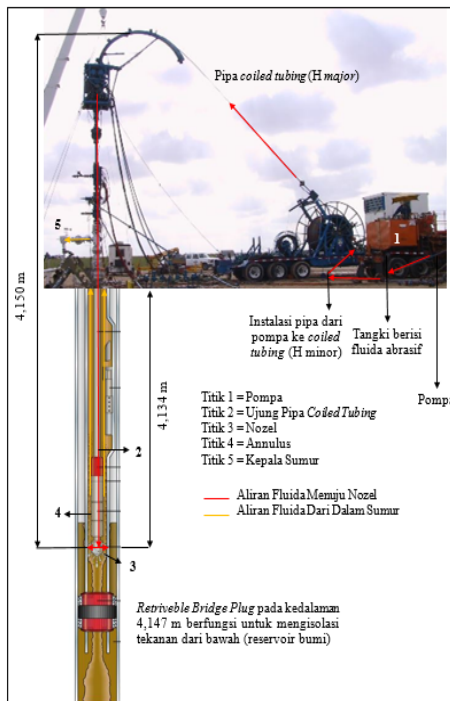
**Tabel 2. Data Debit Aliran vs Tekanan Pompa  
Data Debit Aliran vs Tekanan Yang Terjadi Pada  
Kepala Sumur**

Debit aliran (m <sup>3</sup> /s)	Tekanan Pompa (N/m <sup>2</sup> )
0.0026	2.413 x 10 <sup>7</sup>
0.0039	3.378 x 10 <sup>7</sup>
<b>0.0052</b>	<b>4.619 x 10<sup>7</sup></b>
0.0061	5.447 x 10 <sup>7</sup>

Data debit aliran dan tekanan yang terjadi di kepala sumur pada saat pengetesan alat *HydraBlast*<sup>TM</sup> di dalam sumur pada kedalaman potong sebelum proses pemotongan. Tes dilakukan dengan menggunakan ukuran *choke* keluaran 1 inch = 25.4 mm (*fully open choke*).

**Tabel 3. Debit Aliran vs Tekanan Kepala Sumur**

Debit aliran (m <sup>3</sup> /s)	Tekanan Kepala Sumur (N/m <sup>2</sup> )
0.0026	0.344 x 10 <sup>6</sup>
0.0039	0.758 x 10 <sup>6</sup>
<b>0.0052</b>	<b>1.034 x 10<sup>6</sup></b>
0.0061	1.379 x 10 <sup>6</sup>



**Gambar 17. Instalasi Pemotongan Pipa Produksi  
Dengan Teknik *Hydrajetting***

### Pengolahan Data

- **Perhitungan Kerapatan (*Density*) Fluida Campuran**

$$\rho_c = \frac{1}{1 + \frac{PPA}{p_{Pasir}}} (\rho_{air} + PPA)$$

$$\rho_c = \frac{1}{1 + \frac{1}{22.1}} (8.34 + 1)$$

$$\rho_c = 8.935 \text{ PPG} = 1071 \text{ kg/m}^3$$

- **Perhitungan Berat Fluida**

$$\gamma = \rho \times g$$

$$\gamma = 1071 \text{ kg/m}^3 \times 9.81 \text{ m/s}^2 = 10506.51 \text{ N/m}^3$$

- **Perhitungan Laju Aliran**

Dengan menggunakan persamaan kontinuitas maka didapatkan data hasil perhitungan kecepatan aliran dengan menggunakan debit debit yang berbeda :

**Tabel 4. Laju Aliran pada tiap titik**

Debit aliran (m <sup>3</sup> /s)	V <sub>1</sub> (m/s)	V <sub>2</sub> (m/s)	V <sub>Hydrablast</sub> (m/s)	V <sub>3</sub> (m/s)	V <sub>4</sub> (m/s)	V <sub>5</sub> (m/s)
0.0026	1.6	1.6	5.2	48.7	0.5	5.2
0.0039	2.4	2.4	7.7	73	0.68	7.7
<b>0.0052</b>	<b>3.2</b>	<b>3.2</b>	<b>10.2</b>	<b>97.4</b>	<b>0.9</b>	<b>10.2</b>
0.0061	3.8	3.8	12	114	1	12

- **Rugi Rugi Energi**

**H<sub>L</sub> coiled tubing + instalasi pipa**

$$H_L = H_{major} + H_{minor}$$

$$H_L = 2074 \text{ m} + 10 \text{ m} = 2084 \text{ m}$$

$$H_{major \text{ hydrablast}} = 38 \text{ m}$$

$$H_{major \text{ annular}} = 140 \text{ m}$$

- **Perhitungan Tekanan**

Tekanan P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, P<sub>cutting head</sub> dan P<sub>3</sub> disebut tekanan *upstream*.

**Tabel 5. Tekanan *Upstream***

Debit (m <sup>3</sup> /s)	P <sub>1</sub> (N/m <sup>2</sup> )	P <sub>2</sub> (N/m <sup>2</sup> )	P <sub>cutting head</sub> (N/m <sup>2</sup> )	P <sub>3</sub> (N/m <sup>2</sup> )
0.0026	24130000	60905477	60812959	59558096
0.0039	33780000	64007229	63994922	61171481
<b>0.0052</b>	<b>46190000</b>	<b>67840716</b>	<b>67429722</b>	<b>62409356</b>
0.0061	49640000	67829481	67880876	62973563

Tekanan P<sub>4</sub> dan P<sub>5</sub> disebut tekanan *downstream*.

**Tabel 6. Tekanan *Downstream***

Debit (m <sup>3</sup> /s)	P <sub>4</sub> (N/m <sup>2</sup> )	P <sub>5</sub> (N/m <sup>2</sup> )
0.0026	45266018	3440000
0.0039	44778975	7580000
<b>0.0052</b>	<b>46226023</b>	<b>10340000</b>
0.0061	46358409	13790000

- **Perhitungan Perbedaan Tekanan Pada Kedalaman Potong**

Dengan menggunakan rumus :

$\Delta P = P_4$  (tekanan annulus) – P<sub>cutting head</sub> maka didapat perbedaan tekanan ( $\Delta P$ ) pada kedalaman potong dengan menggunakan debit debit yang berbeda sebagai berikut :

**Tabel 7.** Perbedaan Tekanan Pada Kedalaman Potong

Debit (m <sup>3</sup> /s)	P <sub>cutting head</sub> (N/m <sup>2</sup> )	P <sub>4</sub> (N/m <sup>2</sup> )	ΔP (N/m <sup>2</sup> )	ΔP (psi)
0.0026	60812959	45266018	15546941	2254
0.0039	63994922	44778975	19215947	2787
0.0052	67429722	46226023	21203699	3075
0.0061	67880876	46358409	21522467	3121

- **Perhitungan Slip Velocity**  
SV = 0.04 m/s
- **Perhitungan Annular Velocity (AV)**  
**Rekomendasi**  
AV = SV × Safety Factor  
AV = 0.04 m/s × 5 = 0.2 m/s
- **Perhitungan Jetting Force**  
Perhitungan *jetting force* dengan menggunakan debit debit yang berbeda.

**Tabel 8.** Jetting Force

Debit (m <sup>3</sup> /s)	ΔP (N/m <sup>2</sup> )	Jetting Force (N)
0.0026	14292078	235
0.0039	16392506	261
0.0052	16183333	289
0.0061	16615154	298

- **Perhitungan Tekanan Burst Pipa dan Gaya (Force) Burst Pipa**  
Mencari tekanan *burst*  
 $P_{burst\ pipa} = \frac{2 \times MTS \times t}{D \times SF}$   
 $P_{burst\ pipa} = \frac{2 \times 100000 \times 0.29}{4.5 \times 1} = 12889\ psi$   
Mencari gaya *burst*  
 $F_{burst\ pipa} = P_{burst\ pipa} \times A_{Nozel}$   
 $F_{burst\ pipa} = 12889\ psi \times \frac{1}{4} \pi (0.1875\ in)^2$   
 $F_{burst\ pipa} = 356\ lbs = 1584\ N$

- **Perhitungan Waktu Pemotongan**  
Pada saat pemotongan pipa produksi sumur, alat *HydraBlast™* berputar dengan RPM tertentu. Putaran ini dapat terjadi dikarenakan profil nozel, tekanan dan aliran yang terjadi. Nilai RPM aktual ini tidak diketahui karena putaran motor berada dalam sumur, maka untuk menghitung waktu pemotongan pipa diasumsikan nozel berada dalam keadaan diam tidak berputar tetapi dikondisikan untuk mencakup keseluruhan keliling pipa produksi.

- Mencari keliling pipa produksi  
 $2 \pi r = \pi D = \pi 114.3\ mm = 359\ mm$
- Mencari lebar lubang yang terjadi pada pipa produksi  
**Lebar lubang yang terjadi = 2 x 4.76 mm = 9.52 mm**

- Mencari waktu membuat 1 lubang pada pipa produksi  
 $F_{burst\ pipa} / F_{Jetting} = (9.52\ mm / 4.76\ mm) \times 1584\ N / 289\ N = 11\ s$
- Mencari berapa banyak lubang yang dibutuhkan  
**Keliling pipa / lebar lubang = 359 / 9.52 = 38 lubang**
- Mencari berapa kali proses pelubangan dengan 3 nozel  
**38 lubang / 3 nozel = 13**
- Mencari berapa lama pipa produksi akan terpotong  
**13 kali x 11 s = 143 s = 2.4 menit**  
**Safety factor = 2.4 menit x 3 = 7.2 menit → 8 menit**

- **Perhitungan Standoff**  
Mencari jarak *standoff* pada saat *cutting head* menempel pada dinding pipa produksi  
**Jarak Standoff = D pipa produksi – d cutting head**  
**Jarak Standoff = 99.56 mm – 73 mm = 26.56 mm**  
Mencari jarak *standoff* pada saat sumbu *cutting head* berada sejajar sumbu pipa produksi  
**Jarak Standoff = (D pipa produksi – d cutting head) / 2**  
**Jarak Standoff = ( 99.56 mm – 73 mm ) / 2 = 13.28 mm**

#### ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil perhitungan dianalisis dan dibandingkan terhadap ketentuan yang baku atau standar acuan mengenai syarat-syarat atau rekomendasi proses pemotongan pipa produksi sumur dengan teknik *Hydrajetting*. Selain itu dianalisis ketentuan-ketentuan lain yang menjadi syarat keberhasilan proses *Hydrajetting* ini.



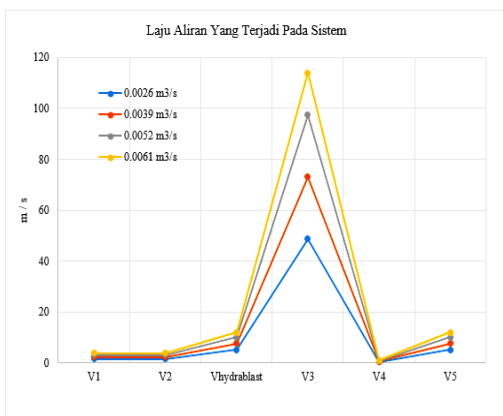
**Tabel 9.** Rekomendasi *Hydrajetting*

General Recommendations	Pipe Cutting Application
Jet Diameter	3/16 in. or 1/4 in.
Jet Phasing	120°
Jet Differential Pressure (ΔP) Across Nozzle	<ul style="list-style-type: none"> <li>• minimum 3,000 psi at 1 bpm for 3/16" nozzle</li> <li>• minimum 3000 psi at 2 bpm for 1/4" nozzle</li> </ul> <i>(jet pressure of 1000 psi will create plugging at the nozzle)</i>
Optimum Standoff	6 x Jet Diameter or less
Efficient Jet Stream Distance	10 – 40 x Jet Diameter
Effective Penetration Distance	11.25 in
Stream loses effectiveness	Approximately 60 x jet diameter
Hole Diameter Result	Perforation = 3 x Jet Diameter Pipe cutting = 2 x Jet Diameter
Annular velocity	5 x slip velocity
Proppant Concentration	1 PPA
Jetting Fluid	20 # Linear Gel
Jetting Time	10 - 15 minutes (single string of pipe cutting)

**Analisis Laju Aliran Fluida Dalam Saluran**

Perhitungan laju aliran fluida dalam saluran menggunakan teori hukum kontinuitas mulai dari laju aliran pada instalasi perpipaan setelah pompa, kemudian masuk ke dalam pipa *coiled tubing*, kemudian keluar melalui nozel dan sampai akhirnya keluar di kepala sumur

- Titik 1 = pangkal *coiled tubing*
- Titik 2 = ujung *coiled tubing*
- *Hydrablast™* = alat *Hydrajetting*
- Titik 3 = nozel
- Titik 4 = annulus pada kedalaman potong
- Titik 5 = kepala sumur



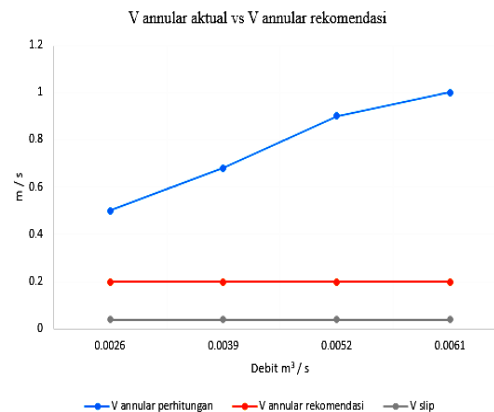
**Gambar 18.** Laju Aliran Pada Tiap Titik

Dari gambar 18, terlihat bahwa beberapa debit aliran akan menghasilkan kecepatan aliran yang berbeda-beda sesuai dengan besar area saluran yang dilaluinya. Dengan debit yang sama di setiap titik pada instalasi, maka sesuai hukum kontinuitas pada nozel dihasilkan laju aliran yang paling cepat dan di annulus dihasilkan laju aliran yang paling lambat.

**Analisis Laju Aliran Di Annulus (*Annular Velocity*) Terhadap *Slip Velocity***

Pada proses pemotongan pipa produksi, pasir yang menjadi bahan abrasif dalam fluida dan *debris cutting* yang terjadi dari hasil pemotongan tidak boleh mengendap di dalam sumur. Pasir yang dipompakan harus dapat terbawa kembali ke permukaan. Pasir dan *debris cutting* yang mengendap akan mengakibatkan proses pencabutan *Retrievable Bridge Plug* yang mengisolasi produksi sumur sementara akan sulit dikarenakan pasir akan menimbun permukaan *Retrievable Bridge Plug*. Selain itu pasir yang tidak terangkat akan menjadi residu bagi sumur sehingga proses produksi sumur akan terganggu. Kecepatan annular yang kurang akan mengakibatkan partikel-partikel pasir dan *debris cutting* jatuh (*slip*) kembali ke dasar sumur. Oleh karena itu kecepatan annular harus lebih besar dari pada kecepatan *slip* (*slip velocity*) sesuai rekomendasi standar acuan proses pemotongan pipa dengan teknik *Hydrajetting*.

- *slip velocity* = 0.04 m/s
- Rekomendasi *annular velocity* dengan *safety factor* 5 x *slip velocity* = 0.2 m/s



**Gambar 19.** *Annular Velocity* vs *Slip Velocity*

Dari gambar 19, terlihat bahwa semua debit aliran akan menghasilkan kecepatan annular yang diatas batas rekomendasi sehingga jika dilihat dari aspek kecepatan annular semua debit aliran dapat digunakan dan dipastikan pasir yang dipompakan dan *debris cutting* yang dihasilkan dapat terbawa ke permukaan.

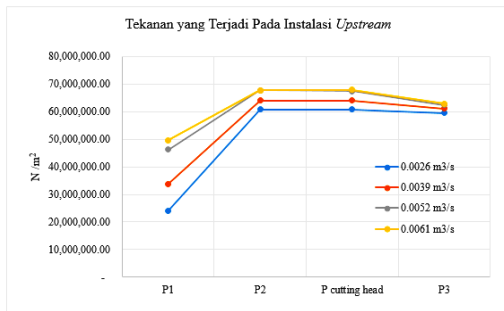
**Analisis Tekanan**

Perhitungan tekanan yang terjadi di dalam sistem dilakukan dengan menggunakan persamaan energi *Bernoulli* dimana dipengaruhi percepatan gravitasi, elevasi dan rugi rugi. Untuk menganalisis tekanan yang terjadi, maka instalasi dibagi dua menjadi tekanan *upstream* yaitu tekanan yang terjadi mulai

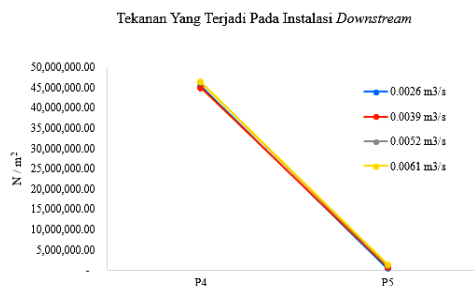
dari pompa, *coiled tubing*, alat *HydraBlast™* dan pada akhirnya ujung nozel, dan tekanan *downstream* yang terjadi pada anulus hingga pipa keluaran kepala sumur.

- Titik 1 = pangkal *coiled tubing*
- Titik 2 = ujung *coiled tubing*
- *Cutting Head* = kepala potong
- Titik 3 = nozel
- Titik 4 = anulus pada kedalaman potong
- Titik 5 = kepala sumur

Titik



Gambar 20. Tekanan Upstream



Gambar 21. Tekanan Downstream

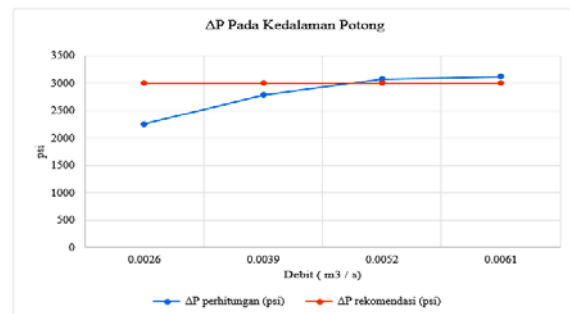
Dari gambar 20 dan 21, terlihat bahwa beberapa debit aliran akan menghasilkan tekanan yang berbeda-beda pada tiap titik.

- Tekanan awal  $P_1$  yang diberikan pompa akan menghasilkan tekanan  $P_2$  yang lebih besar dikarenakan adanya elevasi dan rugi rugi.
- Tekanan  $P_2$  kemudian akan diturunkan menjadi tekanan  $P_{cutting\ head}$  dan  $P_3$  sesuai hukum *Bernoulli* dimana tekanan akan menjadi lebih kecil seiring fluida bertekanan melewati saluran yang lebih kecil.
- Tekanan  $P_4$  merupakan tekanan di anulus pada kedalaman potong dan akan turun menjadi tekanan  $P_5$  seiring fluida bergerak ke permukaan sehingga elevasi dan rugi rugi berpengaruh di dalamnya.

### Analisis Perbedaan Tekanan ( $\Delta P$ ) Pada Kedalaman Potong

Syarat berhasilnya proses pemotongan pipa produksi sumur dengan teknik *Hydrajetting* dilihat dari aspek

tekanan adalah terjadinya perbedaan tekanan  $\Delta P$  (*differential pressure*) antara tekanan di *cutting head* dengan tekanan anulus pada kedalaman potong. Perbedaan tekanan  $\Delta P$  yang direkomendasikan adalah minimum 3000 psi atau  $2.068 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ .



Gambar 22.  $\Delta P$  Pada Kedalaman Potong

Dari gambar 22, terlihat bahwa tidak semua debit aliran akan menghasilkan perbedaan tekanan ( $\Delta P$ ) pada kedalaman potong yang sesuai dengan rekomendasi. Debit aliran yang dapat menghasilkan perbedaan tekanan sesuai rekomendasi hanya  $Q = 0.0052 \text{ m}^3/\text{s}$  dengan  $\Delta P$  sebesar 3075 psi dan  $Q = 0.0061 \text{ m}^3/\text{s}$  dengan  $\Delta P$  sebesar 3121 psi. Dengan demikian debit aliran pemompaan yang dapat digunakan hanya pada batasan  $0.0052 \text{ m}^3/\text{s} - 0.0061 \text{ m}^3/\text{s}$  (2 – 2.3 bpm).

### Analisis Standoff

Pada pekerjaan *coiled tubing* tidak akan terjadi kondisi *standoff* yang maksimal dikarenakan faktor *residual bend* dari *coiled tubing* yang selalu membuat alat yang dibawanya bersandar atau menempel pada dinding sumur. Untuk mendapatkan *standoff* yang optimum pada alat *HydraBlast™* dipasang *Hydraulic Centralizer* yang berfungsi untuk memposisikan alat *Hydrablast™* cenderung ditengah-tengah pipa produksi. Jarak yang dihasilkan oleh posisi *standoff* berpengaruh terhadap faktor lain yaitu efisiensi *jet stream* dan jarak efektif penetrasi. Rekomendasi jarak *Standoff* yang optimal adalah 6 x diameter nozel atau lebih kecil.

Hasil perhitungan *Standoff* :

- Lebar Jarak *Standoff* pada saat nozel bersandar pada dinding pipa produksi sebesar 26.56 mm (1.04 inch) = 5.6 x diameter nozel
- Lebar Jarak *Standoff* pada saat nozel berada satu sumbu dengan sumbu pipa produksi sebesar 13.28 mm (0.52 inch) = 2.8 x diameter nozel

Jadi jarak *standoff* yang terjadi pada proses pemotongan baik dalam kondisi nozel menempel pada dinding maupun ditengah-tengah pipa produksi menghasilkan lebar jarak *standoff* yang masih dalam jarak optimum jangkauan proses *Hydrajetting*.

## Analisis Waktu Pemotongan Pipa Produksi

Waktu pemotongan menjadi salah satu kriteria yang menentukan dalam keberhasilan proses pemotongan pipa produksi. Waktu pemotongan yang lama membutuhkan jumlah fluida yang banyak sedangkan waktu pemotongan yang sebentar mengakibatkan kemungkinan keberhasilan pemotongan menjadi dipertanyakan. Rekomendasi waktu pemotongan pipa produksi dengan teknik *Hydrajetting* adalah 10–15 menit.

Hasil Perhitungan Waktu Pemotongan

- Dengan debit  $Q = 0.0052 \text{ m}^3/\text{s}$  akan menghasilkan waktu pemotongan pipa produksi sumur selama 8 menit
- Waktu aktual yang terjadi di lapangan sesuai program kerja adalah 20 menit.

Jadi waktu proses pemotongan yang terjadi di lapangan melebihi dari waktu rekomendasi dan waktu hasil perhitungan. Sehingga dipastikan pipa produksi terpotong secara sempurna.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan mengenai perbandingan antara hasil perhitungan dengan rekomendasi atau standar acuan proses pemotongan pipa produksi dengan teknik *Hydrajetting*, maka dihasilkan data data sebagai berikut :

1. Penggunaan debit aliran  $0.0052 \text{ m}^3/\text{s}$  dan  $0.0061 \text{ m}^3/\text{s}$  akan menghasilkan kecepatan anular yang diatas standar acuan kecepatan anular sehingga dapat menanggulangi permasalahan *slip velocity*. Dengan kondisi ini pasir dan *debris cutting* tidak akan jatuh ke dasar sumur sehingga tidak mengganggu proses pengerjaan selanjutnya atau proses produksi sumur.
2. Penggunaan debit aliran  $0.0052 \text{ m}^3/\text{s}$  dan  $0.0061 \text{ m}^3/\text{s}$  akan menghasilkan perbedaan tekanan ( $\Delta P$ ) pada kedalaman potong sesuai dengan standar acuan pada tekanan minimum 3000 psi.
3. Kondisi *Standoff* pada proses pemotongan pipa produksi dengan teknik *Hydrajetting* pada pipa produksi 4.5 inch akan memberikan jarak *standoff* sebesar 5.6 x diameter nozel dimana jarak ini masih dalam berada di dalam batas standar acuan.
4. Penggunaan debit  $0.0052 \text{ m}^3/\text{s}$  membutuhkan waktu selama 8 menit untuk memotong pipa produksi sehingga waktu aktual di lapangan selama 20 menit sangat cukup untuk memastikan pipa produksi sudah berhasil terpotong dengan sempurna.
5. Penggunaan debit  $0.0052 \text{ m}^3/\text{s}$  dan  $0.0061 \text{ m}^3/\text{s}$  terbukti dapat memotong pipa produksi sumur dengan sempurna sehingga proses pemompaan di lapangan dilakukan pada batasan  $0.0052 \text{ m}^3/\text{s}$  -  $0.0061 \text{ m}^3/\text{s}$  (2 – 2.3 bpm).

Kesimpulan di atas menunjukkan bahwa penggunaan aplikasi proses pemotongan pipa produksi sumur dengan teknik *Hydrajetting* terbukti dapat memotong pipa produksi sumur dengan sempurna. Selain itu aplikasi ini dapat menjadi suatu solusi yang terukur untuk menanggulangi permasalahan penurunan produksi sumur yang diakibatkan oleh kerusakan yang terjadi pada pipa produksi.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Sharlene Lindsay, *Hydra-Jet Playbook*, Halliburton, Houston, Texas 2011
2. Muhammad Haekal, BC-PRE-021-2014-V3 GHZL-7 2" HPCT Intervention for Work Over Well, Saudi Arabia, 2014
3. *Barlow's Formula for theoretical burst pressure tubing*, 2016
4. Halliburton, *CAST-M Ultrasonic Tubing Casing Evaluation*, Texas 2013
5. Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia, *Dasar-Dasar Teknik Pengeboran*, Jakarta, 2013
6. Halliburton, *Hydra Blast<sup>TM</sup> - Hydrajetting Pro Cleaning Wellbore Tubular*, Texas, 2015
7. Robert Wade Brown, SPE001572 – *Theory of Formation Cutting Using Sand Erosion Process*, Dallas Texas
8. Halliburton, *2.88-in. OD HydraBlast Pro<sup>TM</sup> Tool Assembly and Operating Instructions*, United States of America, 2008
9. Halimatuddahlia, *Jurnal Pencegahan Korosi Dan Scale Pada Proses Produksi Minyak Bumi*, Universitas Sumatera Utara, 2003
10. *Motor Handbook*, National Oilwell Varco, Canada, 2007
11. Dr. Jim B. Surjaatmadja, *Technology Bulletin, Best Practice For Proppant Jetting During Fracturing and Hydrajet Perofating and Cutting*, Halliburton, Duncan OK, 2011
12. Rully Ade Iswadi, *Jurnal Analisa Pompa Bertekanan Tinggi Untuk Proses Pemotongan Tubing*, Jurusan Teknik Mesin, FTI Universitas Jayabaya, 2015
13. *SPF-243 Stimulation Pumper Float – High Pressure Pumping System*, Schlumberger, 2006
14. H09149 *Twin Panther PT SDS*, Halliburton, 2012
15. H00924 *CAST-M / CBL / MFC*, Halliburton, 2013