

**OPTIMASI PRODUKSI PADA *RESERVOIR STRONG WATER DRIVE* MENGGUNAKAN DESAIN METODE *DOWNHOLE WATER LOOP* PADA SUMUR RJ#08 DAN RJ#22 LAPANGAN RAJA**

**TUGAS AKHIR**

*Diajukan guna penyusunan tugas akhir Program Studi Teknik Perminyakan*

Oleh

**JILLY YURINO**

**153210739**



**PROGRAM STUDI TEKNIK PERMINYAKAN**

**UNIVERSITAS ISLAM RIAU**

**PEKANBARU**

**2021**

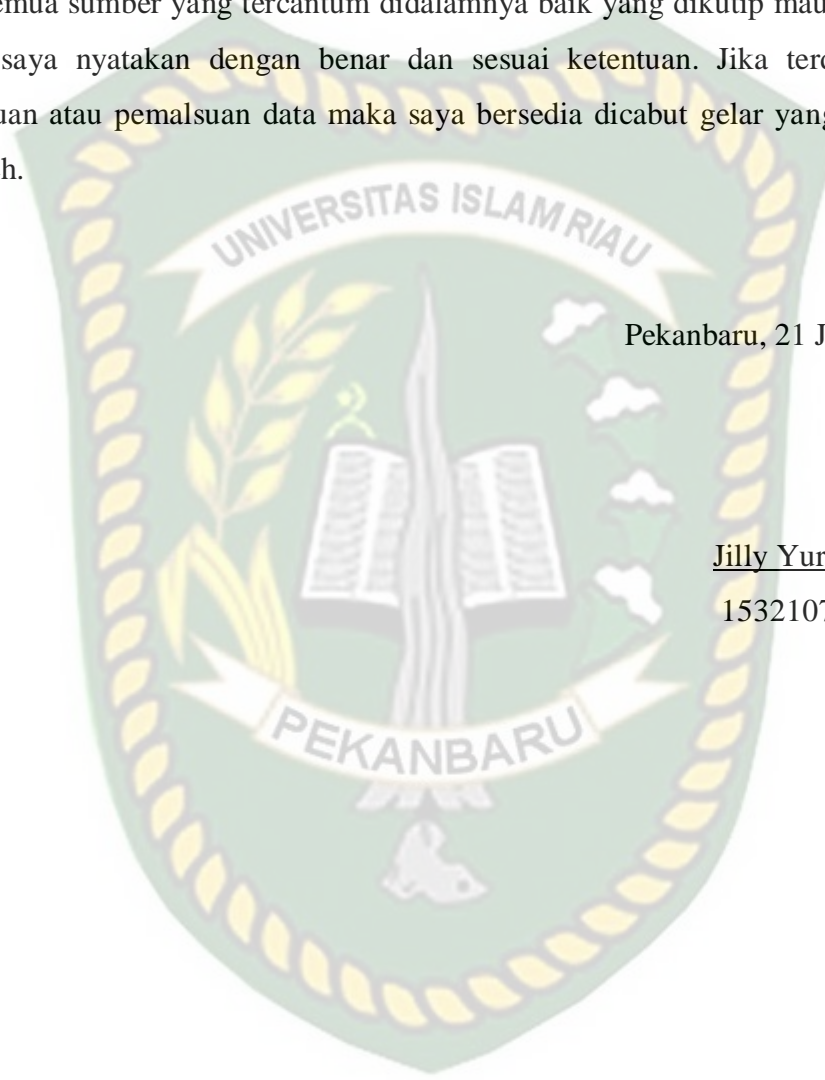
## PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa tugas akhir ini merupakan karya saya sendiri dan semua sumber yang tercantum didalamnya baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar dan sesuai ketentuan. Jika terdapat unsur penipuan atau pemalsuan data maka saya bersedia dicabut gelar yang telah saya peroleh.

Pekanbaru, 21 Januari 2021

Jilly Yurino

153210739



## KATA PENGANTAR

Rasa syukur disampaikan kepada Allah Subhanna wa Ta'ala karena atas Rahmat dan limpahan ilmu dari-Nya saya dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Penulisan tugas akhir ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Perminyakan Universitas Islam Riau. Saya menyadari bahwa banyak pihak yang telah membantu dan mendorong saya untuk menyelesaikan tugas akhir ini serta memperoleh ilmu pengetahuan selama perkuliahan. Tanpa bantuan dari mereka tentu akan sulit rasanya untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik ini. Oleh karena itu saya ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Novrianti, S.T., M.T selaku dosen pembimbing tugas akhir.
2. M. Aryon, S.T., M.T selaku pembimbing akademik yang telah memberikan arahan, nasihat, penyemangat selama menjalani perkuliahan.
3. Novia Rita, S.T., M.T dan Tomi Erfando, S.T., M.T selaku Ketua Prodi dan Sekretaris Prodi serta dosen-dosen di Teknik Perminyakan UIR.
4. Kedua orang tua Yulnifen Hendri dan Noni Desrita, serta keluarga atas segala kasih sayang dan dukungan moral maupun material.
5. Sahabat terbaik beserta teman-teman saya yang telah memberikan semangat dan doa kepada saya dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Teriring doa saya, semoga Allah SWT memberikan balasan atas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga tugas akhir ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan.

Pekanbaru, 21 Januari 2021

Jilly Yurino

**OPTIMASI PRODUKSI PADA *RESERVOIR STRONG WATER DRIVE*  
MENGUNAKAN DESAIN METODE *DOWNHOLE WATER LOOP* PADA  
SUMUR RJ#08 DAN RJ#22 LAPANGAN RAJA**

**JILLY YURINO**

**153210739**

**ABSTRAK**

Pada masa awal produksi sumur minyak, jumlah produksi minyak akan lebih banyak dari pada produksi air ke permukaan, terutama pada *reservoir* dengan mekanisme pendorong *water drive*. *Reservoir* dengan mekanisme pendorong *water drive*, memiliki kecenderungan untuk memproduksi air yang tinggi. Hal ini menyebabkan tidak ekonomisnya sumur dikarenakan produksi minyak yang berkurang dengan produksi air yang terus meningkat. Para peneliti mencoba berbagai cara untuk menyelesaikan masalah pada produksi air, terutama pada *reservoir* dengan mekanisme pendorong *bottom water drive*. *Downhole Water Sink (DWS)* adalah salah satu cara untuk menanggulangi masalah pada produksi air, sumur DWS menggunakan *system dual completion* dengan menempatkan perforasi produksi pada zona minyak dan zona air. Tetapi, kekurangan sumur DWS membutuhkan penanganan air dipermukaan dan biaya *lifting* yang tinggi. L. Jin dan A.K. Wojtanowicz menyelesaikan masalah pada sumur DWS dengan tidak diproduksikannya air pada *aquifer* ke permukaan, sumur ini dinamakan *Downhole Water Loop (DWL)*. Sumur DWL menggunakan tiga perforasi dengan menempatkan satu perforasi produksi pada zona minyak dan dua perforasi pada zona air dengan tujuan pengurasan air pada *aquifer* dan diinjeksikan ke *aquifer* yang lebih dalam.

Penelitian ini bersifat *field reserch* menggunakan data pada sumur RJ#08 dan RJ#22 pada lapangan Raja. Sumur RJ#08 dan RJ#22 mempunyai *reservoir* dengan mekanisme pendorong *strong water drive*, penerapan metode DWL pada sumur RJ#08 memberikan peningkatan produksi minyak dari 73 bopd menjadi 129,8396 bopd dengan laju alir pengurasan air 500 bwpd. Pada sumur RJ#22 memberikan peningkatan produksi minyak dari 37 bopd menjadi 154,6872 bopd dengan laju alir pengurasan air 500 bwpd.

**Kata Kunci:** *Downhole Water Loop, Water Coning, Downhole Water Sink*



**OPTIMIZATION OF PRODUCTION IN STRONG WATER DRIVE  
RESERVOIR USING DOWNHOLE WATER LOOP METHOD DESIGN IN  
THE RJ#08 AND RJ#22 RAJA FIELD**

**JILLY YURINO**

**153210739**

**ABSTRACT**

*In the early days of oil well production, the amount of oil production will be more than the production of water to the surface, especially in reservoirs with water drive mechanism. Reservoir with water drive mechanism has the ability to produce highwater. This causes unemic wells due to reduced oil production and increased water production. The researchers tried various ways to solve problems in water production, especially in reservoirs with bottom water drive mechanism. Downhole Water Sink (DWS) is one way to overcome problems in water production, DWS wells use dual completion system by placing production perforation in oil zone and water zone. But DWS well shortage requires surface water handling and high lifting costs. L. Jin and A.K. Wojtanowicz solve problems in DWS wells by not production of water on the aquifer to the surface, this well is called Downhole Water Loop (DWL). DWL wells use three perforations by placing one production perforation in the oil zone and two perforations in the water zone with the aim of draining the water on the aquifer and injecting it into a deeper aquifer.*

*This research is field reserch using data on RJ#08 and RJ#22 wells in Raja field. Wells RJ#08 and RJ#22 have reservoirs with strong water drive mechanism, the application of DWL method on RJ#08 wells provides an increase in oil production from 73 bopd to 129,8396 bopd with a water flow rate of 500 bwpd. The RJ#22 well provides an increase in oil production from 37 bopd to 154,6872 bopd with a water flow rate of 500 bwpd.*

**Key Word: Downhole Water Loop, Water Coning, Downhole Water Sink**

## DAFTAR ISI

HALAMAN COVER .....	i
HALAMAN PENGESAHAN .....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
ABSTRAK .....	v
ABSTRACT .....	vi
DAFTAR ISI .....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GRAFIK .....	xi
LAMPIRAN .....	xii
DAFTAR SINGKATAN.....	xiii
DAFTAR SIMBOL .....	xiv
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 LATAR BELAKANG .....	1
1.2 TUJUAN PENELITIAN .....	2
1.3 MANFAAT PENELITIAN .....	2
1.4 BATASAN MASALAH.....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>4</b>
2.1 <i>STATE OF ART</i> .....	4
2.2 <i>WATER CONING</i> .....	14
2.3 METODE <i>DOWNHOLE WATER LOOP</i> .....	15
2.4 MEKANISME METODE <i>DOWNHOLE WATER LOOP</i> .....	18
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>21</b>
3.1 METODE PENELITIAN .....	21
3.2 JADWAL PENELITIAN .....	22
3.3 LANGKAH KERJA PENELITIAN .....	24
3.4 TINJAUAN LAPANGAN .....	26
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>28</b>
4.1 KONDISI SUMUR .....	28

4.1.1	Sumur RJ#08.....	28
4.1.2	Sumur RJ#22.....	30
4.2	DESAIN METODE <i>DOWNHOLE WATER LOOP</i> .....	32
4.2.1	Sumur RJ#08.....	33
4.2.2	Sumur RJ#22.....	36
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....		<b>39</b>
5.1	KESIMPULAN.....	39
5.2	SARAN.....	39
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....		<b>40</b>
<b>LAMPIRAN</b> .....		<b>43</b>



## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2. 1</b> Perubahan laju alir pada jarak D/I yang diberikan.....	6
<b>Gambar 2. 2</b> Nilai <i>recovery</i> minyak pada <i>Small Aquifer</i> .....	7
<b>Gambar 2. 3</b> Perbandingan <i>Cumulative Water Production</i> pada <i>small aquifer</i> .....	8
<b>Gambar 2. 4</b> Nilai <i>recovery</i> minyak pada <i>Big Aquifer</i> .....	9
<b>Gambar 2. 5</b> Jumlah produksi minyak kumulatif pada ketiga sumur .....	10
<b>Gambar 2. 6</b> Jumlah air kumulatif yang diproduksi/kuras pada ketiga sumur ....	11
<b>Gambar 2. 7</b> Biaya yang diperlukan untuk pengoperasian setiap sumur .....	12
<b>Gambar 2. 8</b> Peristiwa <i>Water Coning</i> Pada Sumur Vertical .....	14
<b>Gambar 2. 9</b> Skematik <i>DWL Completion</i> .....	19
<b>Gambar 2. 10</b> Mekanisme <i>Water Coning Control</i> Menggunakan <i>DWL</i> .....	19
<b>Gambar 2. 11</b> Aliran Fluida Pada Metode <i>DWL</i> .....	20
<b>Gambar 3. 1</b> Diagram Alir Tugas Akhir.....	21
<b>Gambar 3. 2</b> Lokasi Lapangan Raja .....	27
<b>Gambar 4. 1</b> Analisis Permasalahan Sumur RJ#08 .....	29
<b>Gambar 4. 2</b> Analisis Permasalahan Sumur RJ#22 .....	31
<b>Gambar 4. 3</b> Pemberian Laju Alir Pengurasan Berdasarkan Jarak D/I .....	32
<b>Gambar 4. 4</b> Sumur RJ#08 Dengan Metode <i>Downhole Water Loop</i> .....	34
<b>Gambar 4. 5</b> Sumur RJ#22 Dengan Metode <i>Downhole Water Loop</i> .....	36



## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 3. 1</b> Jadwal Penelitian .....	22
<b>Tabel 3. 2</b> Sifat Fisik Batuan.....	22
<b>Tabel 3. 3</b> Sifat Fisik Fluida.....	22
<b>Tabel 3. 4</b> Data Umum Sumur .....	23
<b>Tabel 3. 5</b> Data Produksi dan Tekanan.....	23
<b>Tabel 4. 1</b> Hasil Perhitungan Sumur RJ#08 <i>Downhole Water Loop</i> .....	35
<b>Tabel 4. 2</b> Hasil Perhitungan Sumur RJ#22 <i>Downhole Water Loop</i> .....	37



## DAFTAR GRAFIK

<b>Grafik 4. 1</b> Grafik Produksi Fluida Sumur RJ#08.....	28
<b>Grafik 4. 2</b> Grafik Produksi Air Sumur RJ#08.....	29
<b>Grafik 4. 3</b> Grafik Produksi Fluida Sumur RJ#22.....	30
<b>Grafik 4. 4</b> Grafik Produksi Air Sumur RJ#22.....	31



Dokumen ini adalah Arsip Miik :  
Perpustakaan Universitas Islam Riau

## LAMPIRAN

<b>Lampiran 1.</b> Data produksi sumur RJ#08 .....	43
<b>Lampiran 2.</b> Data produksi sumur RJ#22 .....	44
<b>Lampiran 3.</b> Sifat Fisik Batuan Sumur RJ#08 .....	45
<b>Lampiran 4.</b> Sifat Fisik Fluida Sumur RJ#08 .....	45
<b>Lampiran 5.</b> Data Umum Sumur RJ#08.....	45
<b>Lampiran 6.</b> Data Produksi dan Tekanan Sumur RJ#08 .....	46
<b>Lampiran 7.</b> Perhitungan Laju Alir Kritis DWL Sumur RJ#08 .....	46
<b>Lampiran 8.</b> Sifat Fisik Batuan Sumur RJ#22 .....	52
<b>Lampiran 9.</b> Sifat Fisik Fluida Sumur RJ#22 .....	53
<b>Lampiran 10.</b> Data Umum Sumur RJ#22.....	53
<b>Lampiran 11.</b> Data Produksi dan Tekanan Sumur RJ#22 .....	53
<b>Lampiran 12.</b> Perhitungan Laju Alir Kritis DWL Sumur RJ#22 .....	54

## DAFTAR SINGKATAN

$D_{di}$	<i>Dimensionless Drainage-Injection Spacing</i>
DWS	<i>Downhole Water Sink</i>
DWL	<i>Downhole Water Loop</i>
D/I	<i>Drainage-Injection</i>
WOC	<i>Water Oil Contact</i>
bbf	<i>barrel</i>
STB	<i>Stock Tank Barrel</i>
ft	<i>feet</i>
mD	<i>Mili Darcy</i>
bpd	<i>Barrel Per Day</i>
bopd	<i>Barrel Oil Per Day</i>
bwpd	<i>Barrel Water Per Day</i>





## DAFTAR SIMBOL

$S_{pp}$	<i>Partial penetration skin (dimensionless)</i>
$h_p$	Panjang interval perforasi produksi (ft)
$h_l$	Jarak antara perforasi minyak dengan batas atas zona minyak (ft)
$h_{pD}$	<i>Dimensionless</i> $h_p$
$h_{lD}$	<i>Dimensionless</i> $h_l$
$r_D$	<i>Dimensionless</i> radius sumur
$h_o$	Ketebalan zona minyak (ft)
$h_{op}$	Panjang dari perforasi minyak (ft)
$h_{di}$	Jarak D/I (ft)
$h_w$	Ketebalan zona air (ft)
$h_{wo}$	Jarak dari perforasi pengurasan air ke WOC (ft)
$h_{wd}$	Panjang dari perforasi pengurasan air (ft)
$h_{wi}$	Panjang dari perforasi injeksi air (ft)
$D_{di}$	<i>Dimensionless</i> dari angka injeksi
$r_e$	Radius pengurasan (ft)
$r_w$	Radius sumur (ft)
$S_{fd}$	<i>Formation damage skin (dimentionless)</i>
$k_r/k_h$	Permeabilitas horizontal (md)
$k_z/k_v$	Permeabilitas vertical (md)
$B$	Faktor formasi (rb/stb)
$\mu$	Viskositas (cp)
$\emptyset$	Porositas (fraction)
$q$	Laju alir (bpd)
$\gamma_w$	Densitas air (fraction)
$\gamma_o$	Densitas minyak (fraction)
$q_{opC}$	Laju alir kritis (bopd)
$q_{wdC}$	Laju alir pengurasan air kritis (bwpd)
$M$	Mobility ratio ( <i>dimentionless</i> )

$h_{diC}$

Jarak antara perforasi pengurasan air dan injeksi air kritis (ft)



Dokumen ini adalah Arsip Miik :

Perpustakaan Universitas Islam Riau

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 LATAR BELAKANG

*Water coning* adalah masalah serius yang dihadapi dalam penuaan *reservoir* pada *bottom water drive*, dimana lapisan minyak yang habis ditutupi oleh air. Sebagai hasilnya nilai *water cut* semakin tinggi dan nilai dari produksi minyak semakin rendah yang menyebabkan sumur tidak produktif lagi untuk diproduksi mengakibatkan sumur ditutup lebih awal tanpa adanya pemulihan *hydrocarbon* yang memadai. Para peneliti mencari selama bertahun-tahun untuk menemukan cara efektif untuk mengontrol *water coning* (Ghandi & Lin, 2014).

*Reservoir* dengan mekanisme *bottom water drive* memiliki kecenderungan yang tinggi untuk menimbulkan efek *water coning* pada masa produksi. Akibat fenomena *water coning* ini, pengurasan minyak pada sumur tidak efektif. Inovasi baru untuk desain penyelesaian pada sumur minyak dengan menggunakan penggerak pada zona *aquifer* diperlukan. Fenomena *water coning* terjadi pada sumur minyak-air yang disebabkan oleh perbedaan tekanan yang tinggi di area sumur bor yang dimana tingkat air lebih tinggi dari tingkat minyak yang akan membentuk kerucut air disekitar zona perforasi. *Reservoir* dengan mekanisme *bottom water drive* memiliki kemungkinan yang tinggi dalam pembentukan *water coning* yang akan berefek pada menurunnya produksi minyak (Jupriansyah, 2019).

Teknologi *Downhole Water Sink* (DWS) telah terbukti mampu meningkatkan laju alir kritis minyak secara signifikan. Dengan adanya penanganan air dipermukaan dan banyaknya energi yang dibutuhkan untuk mengangkat air ke permukaan pada DWS menjadi kelemahan pada sumur ini. Sebaliknya, pada sumur DWL air yang terproduksi tidak dinaikkan ke permukaan melainkan langsung diinjeksikan kembali dan menjaga air tetap ditempat tanpa diproduksi ke permukaan (L Jin & Wojtanowicz, 2011).

Dengan adanya kelemahan pada sumur DWS tersebut, maka dilakukanlah penelitian dengan model sumur baru dengan konsep yang sama dengan perbedaan perlakuan pada produksi air. Pada sumur DWS, air dari *aquifer* diangkat ke permukaan, sedangkan pada sumur DWL air dari *aquifer* tidak diangkat ke

permukaan. Pada sumur DWL air dari *aquifer* langsung diinjeksikan lagi ke *aquifer* yang lebih dalam, dengan cara ini maka dimungkinkan pengontrolan *water coning* tanpa mengurangi tekanan pada *reservoir*. Sehingga pada metode ini dapat mengurangi biaya *lifting* dan *treatment* air pada sumur DWS (Lu Jin & Wojtanowicz, 2010).

Sumur RJ#08 sudah berproduksi dari 16 Januari 1982 dan untuk sumur RJ#22 sudah berproduksi dari 26 Juni 1985, sehingga seiring berjalannya waktu nilai produksi minyak akan berkurang dan nilai dari produksi air akan bertambah. Nilai *water cut* pada sumur RJ#08 mencapai 98% dan nilai *water cut* pada sumur RJ#22 adalah 83% pada tahun 2017. Dengan tingginya nilai *water cut* pada sumur RJ#08 dan RJ#22 dan minimnya produksi minyak pada sumur yang telah sebutkan, diharapkan dengan menggunakan teknologi dari *Downhole Water Loop* dapat meningkatkan produksi minyak dan menurunkan produksi air pada sumur RJ#08 dan RJ#22. Dalam penelitian ini akan melihat bagaimana performa aplikasi teknologi DWL pada sumur RJ#08 dan RJ#22 yang menggunakan mekanisme pendorong *strong water drive* pada lapangan raja dengan menganalisis peningkatan laju alir minyak dengan mempertimbangkan laju alir air pengurasan yang dibutuhkan untuk mengatasi masalah *water coning*, sehingga diharapkan dapat meningkatkan produksi minyak pada sumur.

## 1.2 TUJUAN PENELITIAN

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mendesain ulang letak perforasi pengurasan air, injeksi air dan *packer* sumur RJ#08 dan RJ#22.
2. Menentukan laju produksi minyak pada laju alir pengurasan air yang diberikan, jarak antara perforasi pengurasan air dan injeksi air pada lapangan RJ#08 dan RJ#22 setelah diterapkannya metode DWL.

## 1.3 MANFAAT PENELITIAN

Berdasarkan penelitian yang akan dilakukan dapat memberikan berbagai manfaat diantaranya yaitu:



1. Penelitian ini diharapkan dapat dimanfaatkan sebagai bahan informasi bagi industri hulu migas dalam hal untuk mengatasi menurunnya produksi minyak akibat *water coning*.
2. Dapat menjadi referensi bagi mahasiswa/i Teknik Perminyakan untuk sebagai acuan dalam penelitian khususnya tentang teknologi sumur DWL.

#### 1.4 BATASAN MASALAH

Agar penelitian ini tidak keluar dari tujuan yang diharapkan, maka dalam penelitian ini melihat pengaruh dari kekuatan *aquifer* terhadap performa penerapan teknologi sumur DWL, sensitivitas parameter laju alir minyak dan air, serta jarak D/I di dalam zona *aquifer* terhadap faktor perolehan minyak pada lapangan Raja. Ada beberapa batasan lain yang diterapkan pada penelitian ini, yaitu:

1. Perhitungan menggunakan data dari sumur RJ#08 dan RJ#22 pada lapangan raja.
2. Perhitungan laju alir minyak menggunakan persamaan matematik dari L. Jin dan A.K. Wojtanowicz tahun 2011 untuk sumur *Downhole Water Loop* (DWL)

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

الرَّحِيمِ الرَّحْمَنِ اللَّهُ بِسْمِ

الْجَنَّةِ إِلَى طَرِيقًا بِهِ لَهُ اللَّهُ سَهْلَ عِلْمًا فِيهِ يَلْتَمِسُ طَرِيقًا سَلَكَ مَنْ

“Barangsiapa yang menempuh suatu jalan dalam rangka menuntut ilmu, maka Allah akan memudahkan baginya jalan menuju surga.” (HR. Muslim no. 7028).

### 2.1 STATE OF ART

Penelitian teknologi *Downhole Water Loop* sudah dilakukan pada tahun 2009 oleh L. Jin, A.K. Wojtanowicz, R.G Hughes menggunakan data lapangan Nebo-Hemphill di North Louisiana, US yang sudah memakai teknologi dari *Downhole Water Sink*. Dengan hasil, sumur *Downhole Water Loop* bisa meningkatkan produksi minyak yang lebih besar dari pada sumur *Downhole Water Sink* di lapangan Nebo-Hemphill. Perhitungan pada produksi laju kritis minyak dan air yang menggunakan keseimbangan *vertical* dan mengatur keseimbangan energi dari sumur DWL. Berikut pendekatan yang dijelaskan oleh L. Jin dan A.K. Wojtanowicz 2009 terkait dengan dengan sumur DWL:

- a. Laju minyak kritis “ $Q_{opc}$ ” adalah laju alir minyak tanpa air pada DWL dengan jarak D/I yang telah diberikan. Jika produksi aliran minyak lebih dari laju alir yang telah diberikan, air akan menerobos kedalam perforasi minyak dan *water coning* terjadi.
- b. Laju alir kritis “ $Q_{wdc}$ ” adalah laju alir air tanpa minyak maksimum untuk jarak D/I yang diberikan. Jika laju alir air lebih besar maka minyak akan masuk ke perforasi air dan *oil coning* akan terjadi.
- c. Jarak D/I “ $Z_{min}$ ” adalah adalah jarak minimum yang diperlukan untuk menghindari *water coning*. Jika jarak D/I lebih besar, laju alir produksi akan sangat lambat.

Persamaan *mathematical* model yang dipakai untuk menentukan *critical oil production rate* ( $Q_{opc}$ ), *critical water drainage* ( $Q_{wdc}$ ), dan jarak D/I ( $Z_{min}$ ) menurut L. Jin, A.K Wojtanowicz, R.G. Hughes pada tahun 2009 adalah sebagai berikut:

a) *Critical oil production rate* ( $Q_{opc}$ )

$$Q_{opc} = \frac{Q_{wd} B_w h_o}{M B_o h_w} (1 - D_{di}) + \frac{0,003066 K_o h_o (\gamma_w - \gamma_o)}{B_o \mu_o \ln \frac{r_e}{r_w}} (Z_{op} - Z_{wd} + Z_{wd} D_{di}) \quad \dots (1)$$

b) *Critical water drainage rate* ( $Q_{wdc}$ )

$$Q_{wdc} = \frac{Q_{op} B_o h_w}{B_w h_o} \frac{1}{(1 - D_{di})} + \frac{0,003066 K_w h_w (\gamma_w - \gamma_o) (Z_{wd} - Z_{op} - Z_{wd} D_{di})}{B_w \mu_w \ln \frac{r_e}{r_w} (1 - D_{di})} \quad \dots (2)$$

c) *Critical D/I spacing* ( $Z_{min}$ )

$$Z_{min} = \sqrt{\frac{\left[ \frac{Q_{wd} B_w h_o}{M B_o h_w} + \frac{0,003066 K_o h_o (\gamma_w - \gamma_o) Z_{wd}}{B_o \mu_o \ln \frac{r_e}{r_w}} \right] Z_{wd}}{\frac{\partial Q_{opc}}{\partial Z_{di}}}} - Z_{wd} \quad \dots (3)$$

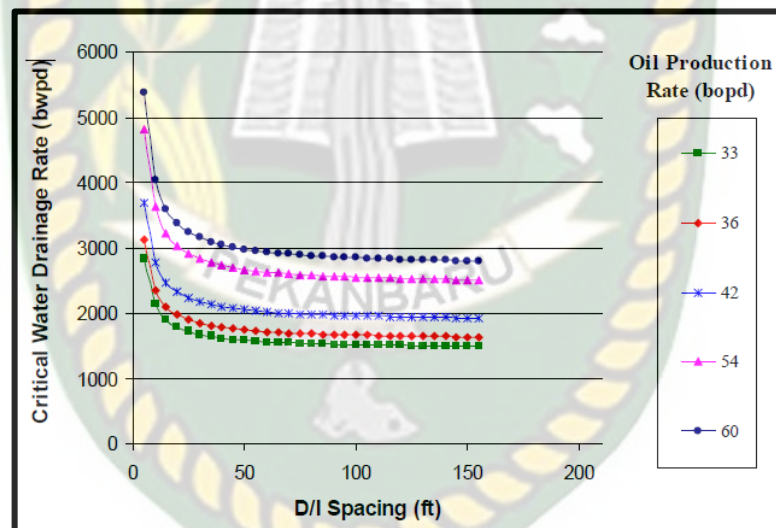
$$0 < Z_{min} < 0,8 h_w$$

Hasil penelitian tersebut memperlihatkan model yang telah di modifikasi mendekati data *real time* dan menapai kecocokan di jarak D/I 50ft dan 60ft pada sumur yang menerapkan metode DWL dengan sumur yang sebelumnya menggunakan metode DWS pada lapangan Nebo-Hemphill. Penerapan sumur DWL ini memberikan peningkatan perolehan minyak yang lebih besar dari sumur DWS dengan memberikan jarak D/I yang lebih dalam pada *aquifer*.

Dengan menganalisi mekanisme DWL untuk mengontrol *water coning*, L.Jin dan A.K Wojtanowicz 2009 membuat kesimpulan bahwa :

1. Model DWL yang dibuat bisa memberikan estimasi performa dari DWL lebih cepat dan memberikan hasil yang masuk akal.
2. Laju alir minyak kritis pada sumur DWL meningkat dengan cepat dibandingkan dengan sumur konvensional.
3. Jarak D/I yang kecil dapat meningkatkan laju alir kritis minyak. Dengan begitu, DWL dapat bekerja dengan *reservoir small bottom drive*.
4. Sumur DWL meningkatkan perolehan minyak dan *recovery*, mengurangi polusi dengan menjaga air tetap di *aquifer* tanpa diangkat ke permukaan.

Jika jarak antara perforasi pengurasan dan injeksi air terlalu pendek, maka laju pengurasan air yang dibutuhkan akan sangat besar seperti yang terlihat pada gambar 2.1. (L Jin et al., 2009).

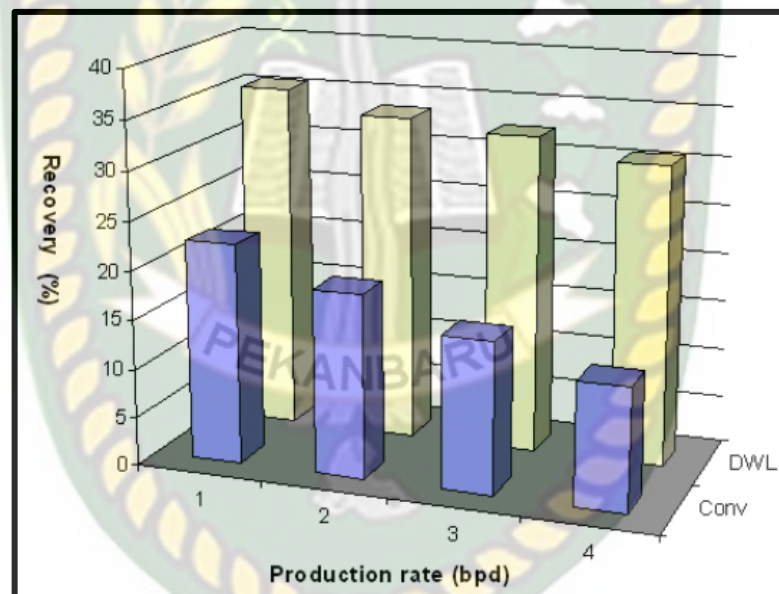


**Gambar 2. 1** Perubahan laju alir pada jarak D/I yang diberikan (L Jin, Wojtanowicz, & Hughes, 2009)

Pada tahun 2010 Lu Jin & Wojtanowicz membuat penelitian tentang perbandingan *recovery factor* minyak antara sumur konvensional, DWS, dan DWL. Penelitian dilakukan menggunakan simulasi dengan keadaan *reservoir big aquifer* dan *small aquifer*. Pemulihan minyak dari *reservoir* dengan *water drive* tergantung pada efisiensi perpindahan minyak oleh air dari *aquifer*, semakin besar penggerak airnya maka semakin efisien minyak yang dipindahkan. Pada *reservoir* dengan

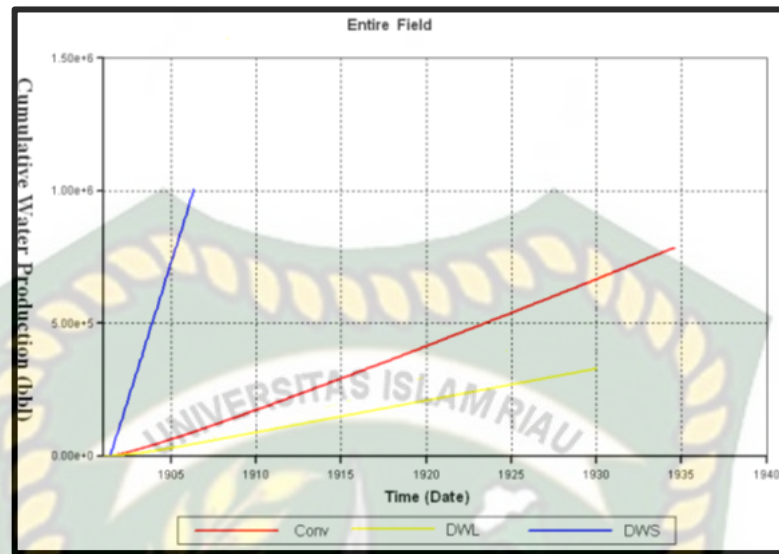


*aquifer* yang besar, minyak dapat diproduksi dengan laju alir yang tinggi sehingga mendapatkan pemulihan yang cepat tanpa merusak tekanan *reservoir*. Sementara pada *reservoir* dengan *small aquifer*, tingkat minyak yang di diproduksi tidak akan lebih cepat karena pertimbangan mempertahankan tekanan pada *reservoir*. *Water Coning* terjadi pada *reservoir* dengan *aquifer* kecil dan besar dikarenakan penurunan tekanan di zona minyak. Pada *aquifer*, air berperan penting untuk menjaga tekanan di *reservoir*. Dalam hal ini untuk mengontrol *water coning* menjadi lebih penting untuk meningkatkan *recovery* minyak. Untuk sumur konvensional, pengembangan *water coning* berkaitan langsung dengan laju produksi.



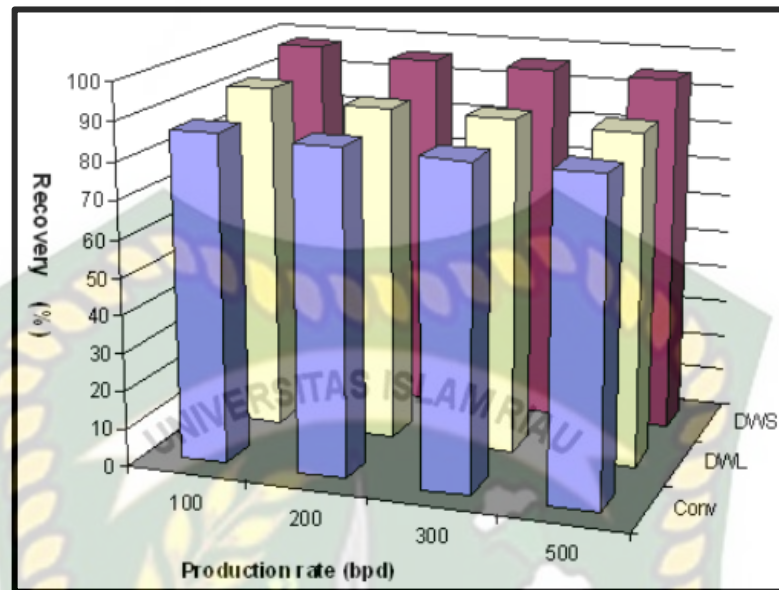
**Gambar 2. 2** Nilai *recovery* minyak pada *Small Aquifer* (Lu Jin & Wojtanowicz, 2010)

Gambar 2.2 menunjukkan perolehan *recovery* minyak pada *aquifer* kecil disumur konvensional dan sumur DWL, laju alir minyak berpengaruh signifikan terhadap *recovery* minyak pada sumur konvensional, DWS dan DWL. Sumur DWS memiliki nilai *recovery* yang jauh lebih rendah daripada sumur konvensional dan DWL karena jumlah produksi air yang besar akan merusak tekanan *reservoir*.



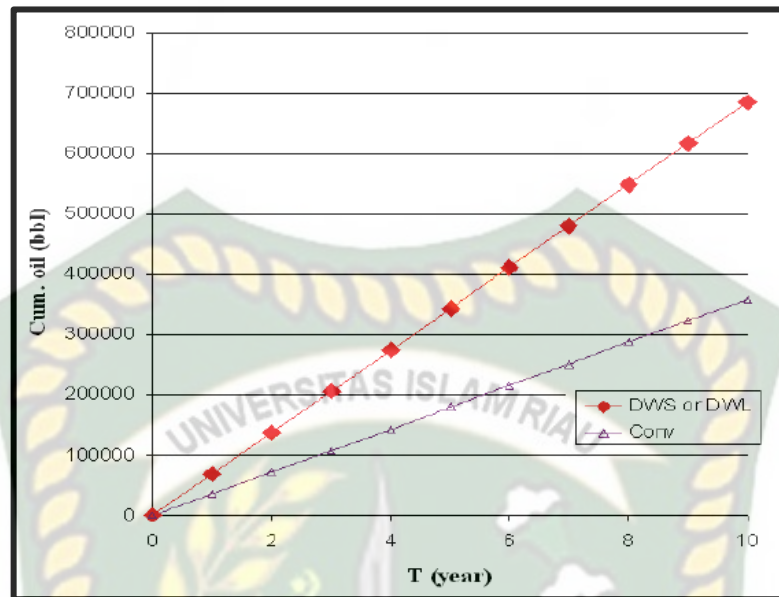
**Gambar 2.3** Perbandingan *Cumulative Water Production* pada *small aquifer* (Lu Jin & Wojtanowicz, 2010)

Untuk sumur konvensional, diperlukan perbaikan kecil dalam pemulihan dalam mengurangi tingkat produksi dan memperpanjang waktu produksi. Sedangkan pada *reservoir* dengan *aquifer* yang besar pada gambar 2.4, nilai *recovery* minyak yang dihasilkan oleh sumur konvensional, DWL dan DWS tidak jauh berbeda, meskipun nilai *recovery* yang tidak jauh berbeda, sumur DWL dapat mengontrol *water coning* lebih baik dan mempersingkat waktu perolehan minyak serta mengurangi jumlah produksi air yang diangkat ke permukaan.



**Gambar 2. 4** Nilai *recovery* minyak pada *Big Aquifer* (Lu Jin & Wojtanowicz, 2010)

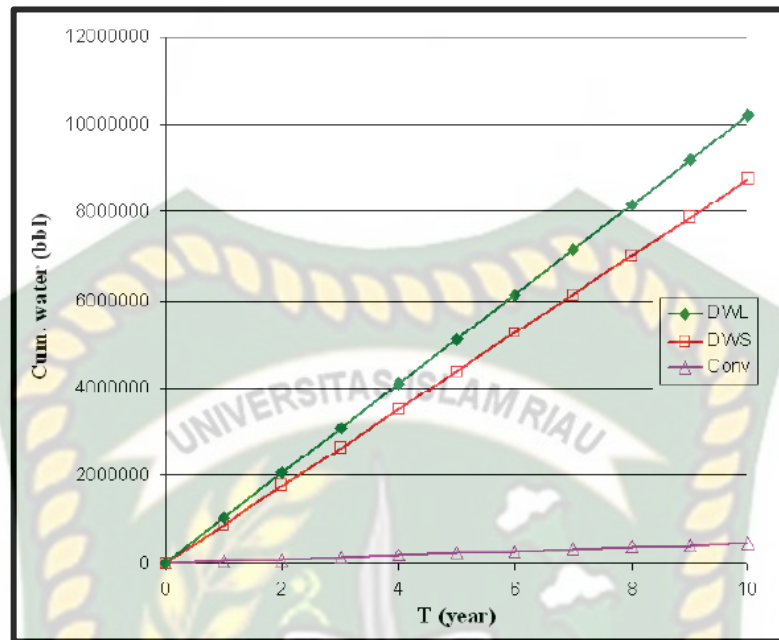
Pada tahun 2011 L. Jin dan Wojtanowicz melakukan penelitian dengan membandingkan tiga sumur yaitu sumur konvensional, DWL, dan DWS dengan perkiraan produksi minyak dengan waktu yang dibutuhkan, serta jumlah dari produksi air kumulatif pada sumur konvensional, DWS dan jumlah air yang didaur ulang oleh *system* DWL.



**Gambar 2. 5** Jumlah produksi minyak kumulatif pada ketiga sumur (Lu Jin & Wojtanowicz, 2011)

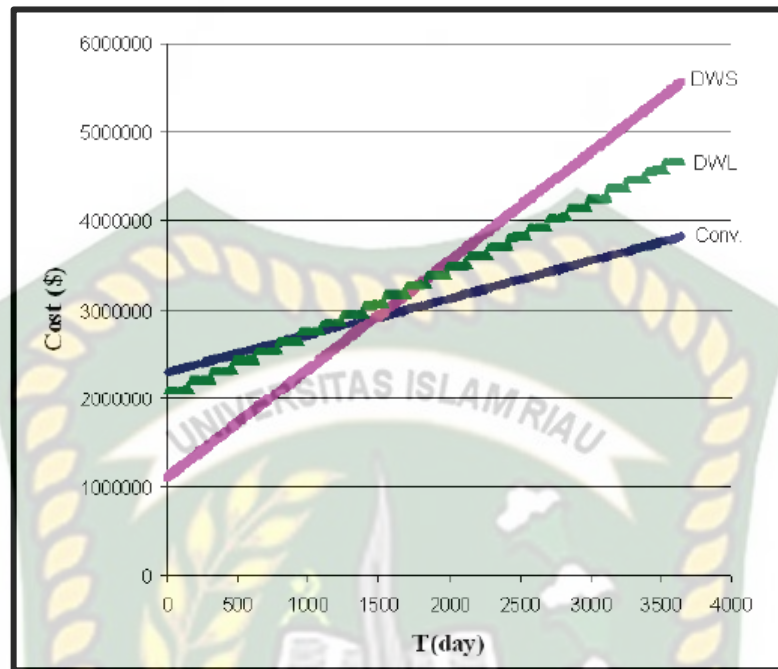
Jumlah produksi minyak kumulatif pada sumur konvensional jauh lebih sedikit dibandingkan dengan sumur DWS dan DWL. Disisi lain, untuk mempertahankan laju alir produksi minyak yang tinggi pada sumur DWS dan DWL melibatkan pemompaan air dengan volume yang besar.





**Gambar 2. 6** Jumlah air kumulatif yang diproduksi/kuras pada ketiga sumur (Lu Jin & Wojtanowicz, 2011)

Dari segi biaya pengoperasian sumur, untuk sumur konvensional meliputi; biaya pengangkatan air, biaya fasilitas *treatment*, serta biaya yang dikeluarkan untuk pengolahan dan pembuangan air. Untuk sumur DWS biaya yang dikeluarkan meliputi; biaya konstruksi sumur bagian pengurusan air dan biaya pengangkatan air dengan pengolahan dan pembuangan air yang sama atau lebih kecil dari sumur konvensional. Sedangkan untuk biaya yang dikeluarkan untuk sumur DWL meliputi; biaya konstruksi sumur dengan pengurusan air dan injeksi air dan *water looping*. Biaya sumur konvensional lebih murah karna menghasilkan lebih sedikit air, tetapi juga menghasilkan lebih sedikit minyak dibanding dua sumur lainnya (Lu Jin & Wojtanowicz, 2011).



**Gambar 2. 7** Biaya yang diperlukan untuk pengoperasian setiap sumur (Lu Jin & Wojtanowicz, 2011)

Pada tahun 2011 L. Jin dan A.K Wojtanowicz melanjutkan penelitian dengan menggunakan *anisotropy* model analitik dengan pendekatan:

- a. Laju alir kritis minyak " $Q_{opc}$ " adalah laju produksi minyak bebas air maksimum pada kompleks paling atas DWL dengan pengurasan air bebas minyak pada jarak D/I yang diberikan. Jika laju alir produksi minyak lebih besar dari pada laju alir air maka *water coning* akan terjadi.
- b. Laju alir air kritis " $Q_{wdc}$ " adalah laju alir air bebas minyak pada kompleks DWL untuk jarak D/I yang diberikan. Jika laju alir air lebih besar, minyak akan masuk ke perforasi air dan *coning* minyak akan terjadi.
- c. Jarak kritis D/I " $h_{dic}$ " adalah jarak minimum D/I yang diperlukan untuk menghindari *water coning*. Jika jarak D/I lebih besar, maka *water oil contact* (WOC) akan cenderung datar.

Dengan menggunakan pendekatan yang telah dituliskan L. Jin dan A.K Wojtanowicz tahun 2011 mendapatkan *mathematical* model sebagai berikut:

d) *Critical oil rate* ( $Q_{opC}$ )

$$Q_{opC} = \frac{Q_{wd}B_w h'_o \left[ (1 - D_{di}) \ln \left( \frac{r'_e}{r'_w} \right) + S_{pp-wd} - D_{di}(S_{pp-wi} + S_{fd}) \right]}{MB_o h'_w \left[ \ln \left( \frac{r'_e}{r'_w} \right) + S_{pp-op} \right]} + \frac{0,003066K_o h'_o (\gamma_w - \gamma_o) [h'_{op} - h'_{wo} + h'_{wo} D_{di}]}{\mu_o B_o \left[ \ln \left( \frac{r'_e}{r'_w} \right) + S_{pp-op} \right]} \quad \dots(4)$$

e) *Critical water drainage rate* ( $Q_{wdC}$ )

$$Q_{wdC} = \frac{Q_{op} MB_o h'_w \left[ \ln \left( \frac{r'_e}{r'_w} \right) + S_{pp-op} \right]}{B_w h'_o \left[ (1 - D_{di}) \ln \left( \frac{r'_e}{r'_w} \right) + S_{pp-wd} - D_{di}(S_{pp-wi} + S_{fd}) \right]} + \frac{0,003066K_w h'_w (\gamma_w - \gamma_o)}{\mu_w B_w} \frac{[h'_{wo} - h'_{op} - h'_{wo} D_{di}]}{\left[ (1 - D_{di}) \ln \left( \frac{r'_e}{r'_w} \right) + S_{pp-wd} - D_{di}(S_{pp-wi} + S_{fd}) \right]} \quad \dots(5)$$

f) *Critical D/I spacing* ( $h_{dic}$ )

$$h_{dic} = \sqrt{\frac{\left[ \frac{h'_{wo} Q_{wd} B_w h'_o}{MB_o h'_w} \left[ \ln \left( \frac{r'_e}{r'_w} \right) + S_{pp-wi} + S_{fd} \right] \right]}{\left[ \ln \left( \frac{r'_e}{r'_w} \right) + S_{pp-op} \right] \left( \frac{\partial Q_{opC}}{\partial h_{di}} \right)}} - \sqrt{\frac{0,003066 h'_{wo} K_o h'_o h'_{ow} (\gamma_w - \gamma_o)}{\mu_o B_o \left[ \ln \left( \frac{r'_e}{r'_w} \right) + S_{pp-op} \right] \left( \frac{\partial Q_{opC}}{\partial h_{di}} \right)}} - h'_{wo}$$

$$0 < h_{dic} < 0,8 h_w \quad \dots(6)$$

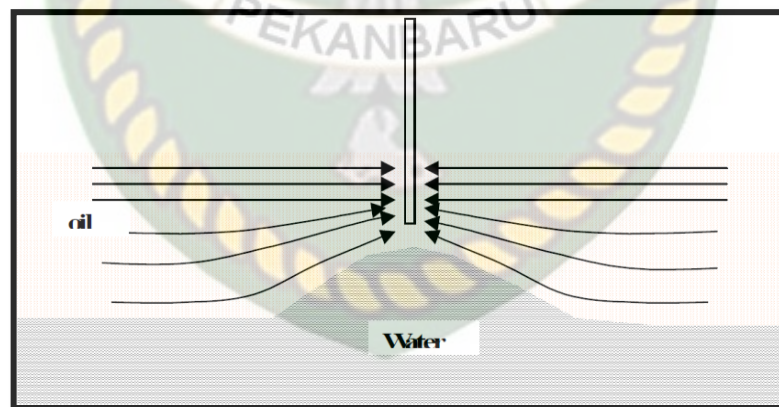
Dengan penelitian L. Jin dan A.K Wojtanowicz pada tahun 2011 menyimpulkan bahwa;

1. Model terbaru ini dapat memprediksi laju alir kritis minyak, laju alir kritis air dan jarak D/I untuk sumur DWL pada *reservoir* anisotropic.

2. Laju alir minyak dapat meningkat lima kali lipat dengan DWL dalam *reservoir* dengan 80% *bottom water*.
3. *Water coning* pada sumur konvensional dikendalikan oleh *reservoir* dan sifat fluida, dan tidak dapat dikontrol dengan signifikan oleh sumur konvensional.
4. *Water coning* lebih terkontrol dengan sumur DWL dengan faktor laju alir air dan jarak D/I.

## 2.2 WATER CONING

Pada lapangan minyak dengan sumur yang memakai tenaga pendorong air (*water drive*) sering terjadi permasalahan dimana batas minyak dan air mengalami kenaikan membentuk kerucut menuju zona perforasi yang akan menyebabkan waktu tembus air menjadi lebih awal ke perforasi, sehingga peningkatan jumlah air yang diproduksi menjadi lebih cepat dan mendominasi jumlah total fluida yang diproduksi oleh sumur, peristiwa ini disebut dengan *water coning* (Nugroho & Marhaendrajana, 2010).



**Gambar 2. 8** Peristiwa *Water Coning* Pada Sumur Vertical (Okon, Olagunju, & Akpabio, 2018)

DWS adalah teknologi yang dikembangkan untuk mengatasi masalah *water coning* pada *reservoir*. Pada sumur DWS memiliki dua perforasi yang diisolasi oleh *packer*, bagian atas yang ditujukan untuk produksi minyak, dan pada bagian bawah *Water Oil Contact* (WOC) yang ditujukan untuk produksi air. Sehingga *Water Cut*



pada produksi minyak dapat dikurangkan atau sepenuhnya dihilangkan (Wojtanowicz, Shirman, & Kurban, 1999). Pada lapangan Nebo-Hemphill milik Hunt Petroleum di North Louisiana, para peneliti menerapkan teknologi *Downhole Water Sink* (DWS) yang telah sukses dan efektif untuk mengatasi masalah *water coning* (M. D. Swisher, 1995).

Dengan adanya teknologi DWL ini maka *water coning* sangat mungkin dikontrol dan diatasi, tetapi pada sumur DWS, air dari *reservoir* diangkat ke permukaan yang membutuhkan energi lebih dan membutuhkan *treatment*. Berbeda dengan sumur DWL, air dari *reservoir* tidak diangkat ke permukaan, melainkan langsung diinjeksikan lagi ke *aquifer* yang lebih dalam.

### 2.3 METODE *DOWNHOLE WATER LOOP*

Pada tahun 1992 A.K Wojtanowicz mengusulkan sumur dengan konsep yang sama dengan sumur DWS tetapi bisa menutupi kekurangan yang dimiliki oleh sumur DWS, teknologi ini diberi nama *downhole water loop* (DWL). Teknologi ini dipakai untuk mengurangi volume air formasi yang dihasilkan oleh sumur minyak yang memiliki zona *aquifer* dibawahnya (*bottom water drive*). Dari hasil penelitiannya, dikatakan bahwa sumur dengan teknologi DWL akan meningkatkan produksi minyak dua sampai empat kali lipat dari sumur konvensional (L Jin & Wojtanowicz, 2008).

Jika sumur DWS memiliki dua perforasi maka sumur DWL memiliki tiga perforasi, perforasi pertama diletakkan pada zona minyak (*top completion*) yang ditujukan untuk memproduksi minyak, perforasi kedua di letakkan pada zona air yang ditujukan untuk menguras air, sedangkan perforasi yang ketiga diletakkan pada zona air yang lebih dalam yang ditujukan untuk penginjeksian air (Lu Jin & Wojtanowicz, 2011).

Beberapa studi simulasi telah dilakukan untuk menentukan *hydrodynamics* dari *water oil contact* (WOC) pada sekitaran sumur, teknologi DWL dapat secara efektif mengendalikan laju produksi minyak sampai empat kali lipat lebih tinggi dari pada menggunakan sumur konvensional. Teknologi DWL juga memiliki

keunggulan yang dapat dipakai menjadi solusi masalah lingkungan yang terkait dengan pembuangan air produksi. (Okon et al., 2018)

Pada tahun 2011 L. Jin dan A.K Wojtanowicz melakukan penelitian pada perhitungan *downhole water loop* dengan mempertimbangkan faktor *partial penetration* dan *formation damage*, Brons dan Marting (1960) pertama kali menganggap masalah *partial penetration* sebagai *pseudo skin factor*. Mengikuti pekerjaan mereka, beberapa korelasi untuk memprediksi *partial penetration skin factor* telah diusulkan. Papatzacos (1987) memberikan tinjauan komprehensif dari pekerjaan sebelumnya *partial penetration* pseudoskin untuk sumur dengan konduktivitas tak terbatas. Dia menggunakan metode gambar untuk mendapatkan penurunan tekanan di lubang sumur dari sumur tembus parsial, dan menyajikan rumus sederhana untuk faktor *pseudo skin factor* dengan aliran masuk terbatas, *partial penetration skin* dihitung menggunakan persamaan di bawah ini:

$$S_{pp} = \left( \frac{1}{h_{pD}} - 1 \right) \ln \frac{\pi}{2r_D} + \frac{1}{h_{pD}} \ln \left[ \frac{h_{pD}}{2+h_{pD}} \left\{ \frac{A-1}{B-1} \right\}^{\frac{1}{2}} \right] \dots\dots\dots (7)$$

Dimana :

$$r_D = \left( \frac{r_w}{h_o} \right) \left( \frac{kz}{kr} \right)^{1/2} \dots\dots\dots (8)$$

$$h_{pD} = \frac{h_{op}}{h_o} \dots\dots\dots (9)$$

$$h_{1D} = \frac{h_1}{h_o} \dots\dots\dots (10)$$

$$A = \frac{1}{(h_{1D} + \frac{h_{pD}}{4})} \dots\dots\dots (11)$$

$$B = \frac{1}{(h_{1D} + \frac{3h_{pD}}{4})} \dots\dots\dots (12)$$

Kinerja produksi sumur DWL dipengaruhi oleh kerusakan formasi dekat lubang bor di ketiga penyelesaian sumur. Namun yang paling penting adalah kerusakan pada penyelesaian injeksi air. Penurunan injeksi yang disebabkan oleh kerusakan formasi merupakan fenomena umum di sekitar sumur injeksi. Namun pada studi yang dilakukan L. Jin mempertimbangkan kinerja sumur DWL pada titik waktu tertentu, yaitu semua parameter tidak bergantung waktu. Dengan demikian, faktor skin di sekitar penyelesaian injeksi dalam penelitian ini diwakili oleh nilai konstan  $S_{fd}$ .

Untuk perhitungan pada anisotropy model efek permeabilitas vertikal dapat diabaikan ketika permeabilitas horizontal jauh lebih tinggi daripada permeabilitas vertikal. Ketika sumur menembus sebagian dan penggerak air bawah kuat, efek permeabilitas vertikal harus dipertimbangkan dalam aliran kondisi mapan. Pada skema sistem sumur DWL dengan tiga penyelesaian dengan panjang dan lokasi tertentu serta WOC datar dan horizontal. Perforasi pertama menghasilkan minyak dari zona minyak, perforasi kedua mengalirkan air dari *aquifer* dan perforasi ketiga menyuntikkan kembali air yang dikuras ke *aquifer* yang lebih dalam. Transformasikan sistem *reservoir* sumur isotropik menjadi sistem anisotropik menyamakannya dengan menggunakan transformasi berikut dalam vektor horizontal dan vertikal seperti yang ditunjukkan pada persamaan berikut;

Horizontal :

a. *Well radius*

$$r'_w = \sqrt[4]{\frac{kz}{kr}} \times rw \dots\dots\dots (13)$$

b. *Drainage radius*

$$r'_e = \sqrt[4]{\frac{kz}{kr}} \times re \dots\dots\dots (14)$$

Vertical :

a. *Thickness of pay zone*

$$h'_o = \sqrt[4]{\frac{kr}{kz}} \times ho \dots\dots\dots (15)$$

b. *Length of oil production completion*

$$h'_{op} = \sqrt[4]{\frac{kr}{kz}} \times hop \dots\dots\dots (16)$$

c. *Aquifer Thickness*

$$h'_w = \sqrt[4]{\frac{kr}{kz}} \times hw \dots\dots\dots (17)$$

d. *Distance from water drainage completion top WOC*

$$h'_{wo} = \sqrt[4]{\frac{kr}{kz}} \times hwo \dots\dots\dots (18)$$

e. *Length of water drainage completion*

$$h_{wd}' = \sqrt[4]{\frac{kr}{kz}} \times hwd \dots\dots\dots (19)$$

f. Length of water injection completion

$$h_{wi}' = \sqrt[4]{\frac{kr}{kz}} \times hwi \dots\dots\dots (20)$$

g. D/I spacing

$$h_{di}' = \sqrt[4]{\frac{kr}{kz}} \times hdi \dots\dots\dots (21)$$

h. Dimensionless injection number

$$D_{di} = \frac{hwo'}{hwo' + hdi'} \dots\dots\dots (22)$$

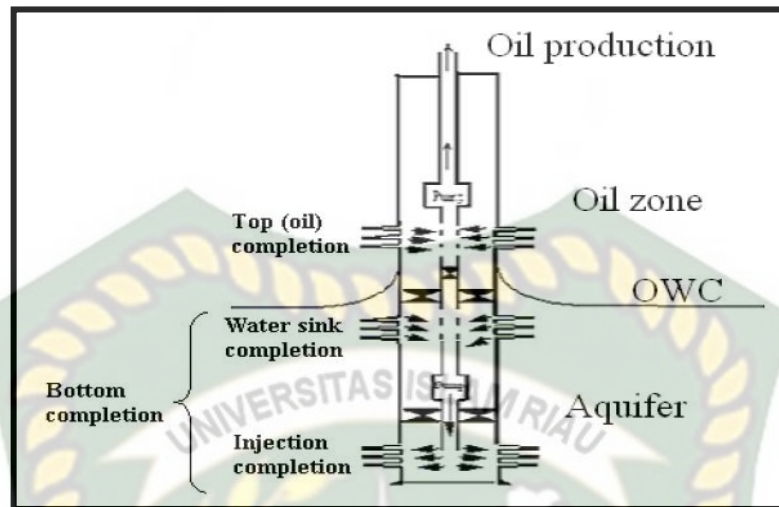
i. Mobility Ratio

$$M = \frac{k_w \times \mu_o}{k_o \times \mu_w} \dots\dots\dots (23)$$

#### 2.4 MEKANISME METODE *DOWNHOLE WATER LOOP*

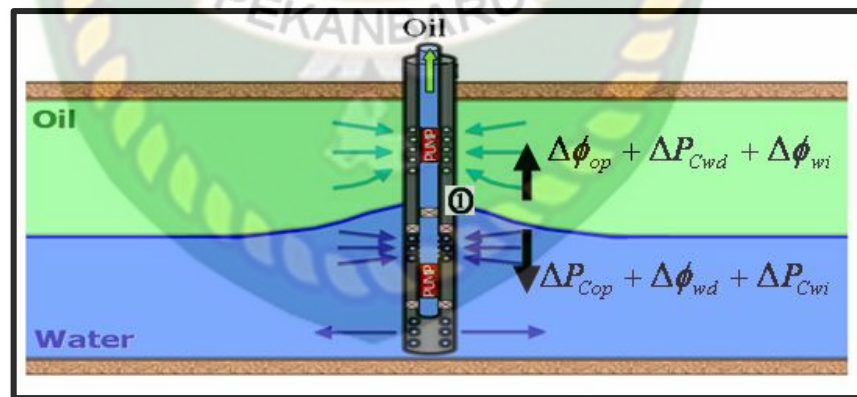
Skematik metode DWL ini dapat dilihat dari gambar 2.9, dimana pada sumur DWL mempunyai dua *completion*, *top completion* yang berada pada zona minyak dan *bottom completion* berada pada zona air. Zona minyak dan zona air pada sumur DWL dipisahkan oleh *packer*. Sehingga pada saat produksi berlangsung, minyak akan mengalir ke perforasi yang pertama pada *top completion* di atas WOC. Pada *bottom completion*, air yang dikuras dari perforasi kedua dan diinjeksikan lagi ke *aquifer* yang lebih dalam menggunakan pompa *electric submercible pump* dengan menggunakan *system y-tool* (Okon, Appah, & Akpabio, 2017).





Gambar 2. 9 Skematik DWL Completion (Lu Jin & Wojtanowicz, 2011)

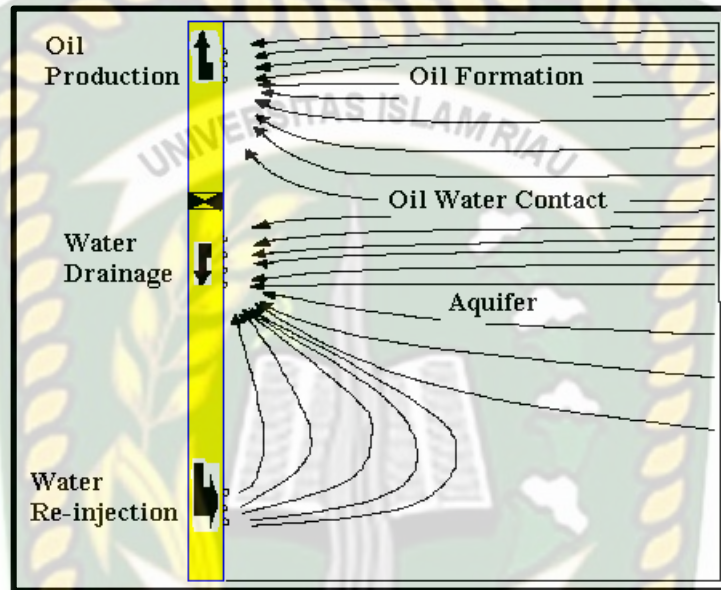
Jin dan Wojtanowicz pada tahun 2008 menjelaskan bahwa pada *water coning*, *water oil contact* (WOC) berubah bentuk keatas karena penurunan tekanan yang disebabkan oleh produksi minyak. Dengan demikian, penurunan tekanan pada *reservoir* akan mengakibatkan *aquifer* akan bergerak naik.



Gambar 2. 10 Mekanisme Water Coning Control Menggunakan DWL (L Jin et al., 2009)

Pompa yang digunakan adalah pompa esp, baik di zona air maupun di zona minyak. Pompa esp pada zona minyak ditujukan untuk mengangkat minyak ke permukaan, sedangkan pompa pada zona air ditujukan untuk menguras air dan diinjeksikan ke *aquifer* yang lebih dalam sehingga dapat mencegah *water coning* naik ke perforasi

minyak. Mekanisme aliran fluida pada *downhole water loop* secara skematis digambarkan pada gambar 2.11. Dengan air yang diinjeksikan kembali tanpa diangkat ke permukaan menjaga agar tekanan pada *reservoir* dapat di pertahankan dan *water coning* dapat dikontrol.

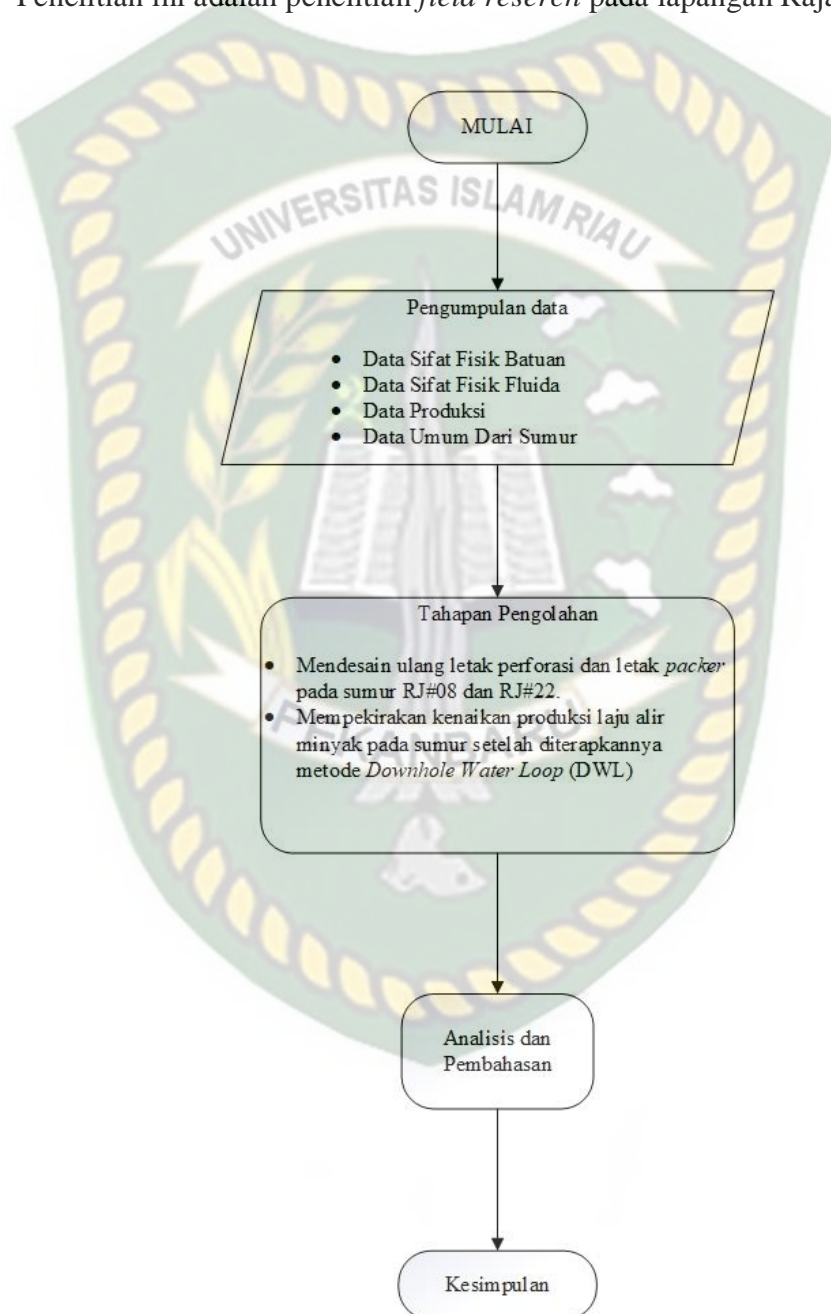


**Gambar 2. 11** Aliran Fluida Pada Metode DWL (Jin and Wojtanowicz, 2008)

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 METODE PENELITIAN

Penelitian ini adalah penelitian *field reserch* pada lapangan Raja.



Gambar 3. 1 Diagram Alir Tugas Akhir

### 3.2 JADWAL PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan data dari lapangan raja pada sumur RJ#08 dan RJ#22 dengan jadwal penelitian sebagai berikut:

**Tabel 3. 1** Jadwal Penelitian

TAHAPAN PENELITIAN	TAHUN 2020								TAHUN 2021										
	OKTOBER		NOVEMBER				DESEMBER		JANUARI				FEBRUARI						
	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
Persiapan dan pengumpulan data	■	■																	
Pengolahan data			■	■	■	■	■	■	■										
Analisis dan pembahasan							■	■	■	■	■	■	■	■					
Laporan penelitian												■	■	■	■	■	■	■	■

Berikut adalah parameter yang diperlukan sebagai berikut;

**Tabel 3. 2** Sifat Fisik Batuan

Sifat Fisik Batuan	Value	Unit
Permeabilitas Vertikal (Kv),		mD
Permeabilitas Horizontal (Kh),		mD
Permeabilitas Water (Kw),		mD
Permeabilitas Oil (Ko),		mD
Porositas, %		

**Tabel 3. 3** Sifat Fisik Fluida

Sifat Fisik Fluida	Value	Unit
Densitas Air,		gr/cc
Densitas minyak,		gr/cc
Faktor volume formasi air (Bw),		bbbl/STB
Faktor volume formasi minyak (Bo),		bbbl/STB
Viskositas air,		cp



Viskositas minyak,		cp
Mobiliti Ratio		

**Tabel 3. 4** Data Umum Sumur

Data Umum	Value	Unit
Diameter Tubing, ID,		inch
Diameter Production Casing, ID,		inch
Kedalaman Sumur,		ft
Kedalaman Zona Minyak (ho),		ft
Kedalaman Zona Air (hw),		ft
Jarak Antara Zona Air Bawah dengan Top Perforasi (hx),		ft
Interval Perforasi (hp),		ft
Interval Top Perforasi (hpo),		ft
Interval Bottom Perforasi (hpw),		ft
Kedalaman WOC,		ft
Jarak dari Perforasi ke WOC (hc)		ft
Jari-jari sumur (rw),		ft

**Tabel 3. 5** Data Produksi dan Tekanan

Data Produksi dan Tekanan	Value	Unit
Jari-jari pengurasan (re),		Ft
Tekanan reservoir (Pr),		psi
Teakanan alir dasar sumur (Pwf),		psi
Laju produksi minyak (qo),		BOPD
Laju produksi air (qw),		BWPD
Laju produksi fluida,		BFPD
Water cut (wc),		%
OOIP		STB

### 3.3 LANGKAH KERJA PENELITIAN

Dengan terkumpulnya data untuk mendukung penelitian ini, maka langkah kerja yang akan dilakukan untuk menentukan nilai performa dari sumur DWL ini adalah sebagai berikut;

a. *Partial penetration skin (dimensionless)*

$$S_{pp} = \left( \frac{1}{h_{pD}} - 1 \right) \ln \frac{\pi}{2r_D} + \frac{1}{h_{pD}} \ln \left[ \frac{h_{pD}}{2 + h_{pD}} \left( \frac{A - 1}{B - 1} \right)^{\frac{1}{2}} \right]$$

$$r_D = \left( \frac{rw}{ho} \right) \left( \frac{kz}{kr} \right)^{1/2}$$

$$h_{pD} = \frac{hop}{ho}$$

$$h_{1D} = \frac{h1}{ho}$$

$$A = \frac{1}{(h_{1D} + h_{pD}/4)}$$

$$B = \frac{1}{(h_{1D} + 3h_{pD}/4)}$$

b. *Drainage radius*

$$r'_e = \sqrt[4]{\frac{kz}{kr}} \times re$$

c. *Well radius*

$$r'_w = \sqrt[4]{\frac{kz}{kr}} \times rw$$

d. *Thickness of pay zone*

$$h'_o = \sqrt[4]{\frac{kr}{kz}} \times ho$$

e. *Length of oil production completion*

$$h'_{op} = \sqrt[4]{\frac{kr}{kz}} \times hop$$

f. *Aquifer Thickness*

$$h_w' = \sqrt[4]{\frac{kr}{kz}} \times h_w$$

g. *Distance from water drainage completion top WOC*

$$h_{wo}' = \sqrt[4]{\frac{kr}{kz}} \times h_{wo}$$

h. *Length of water drainage completion*

$$h_{wd}' = \sqrt[4]{\frac{kr}{kz}} \times h_{wd}$$

i. *Length of water injection completion*

$$h_{wi}' = \sqrt[4]{\frac{kr}{kz}} \times h_{wi}$$

j. *D/I spacing*

$$h_{di}' = \sqrt[4]{\frac{kr}{kz}} \times h_{di}$$

k. *Dimensionless injection number*

$$D_{di} = \frac{h_{wo}'}{h_{wo}' + h_{di}'}$$

l. *Mobility Ratio*

$$M = \frac{k_w \times \mu_o}{k_o \times \mu_w}$$

m. *Critical oil production rate*

$$Q_{opc} = \frac{Q_{wd} B_w h'_o \left[ (1 - D_{di}) \ln \left( \frac{r'_e}{r'_w} \right) + S_{pp-wd} - D_{di} (S_{pp-wi} + S_{fd}) \right]}{M B_o h'_w \left[ \ln \left( \frac{r'_e}{r'_w} \right) + S_{pp-op} \right]} + \frac{0,003066 K_o h'_o (\gamma_w - \gamma_o) [h'_{op} - h'_{wo} + h'_{wo} D_{di}]}{\mu_o B_o \left[ \ln \left( \frac{r'_e}{r'_w} \right) + S_{pp-op} \right]}$$

n. *Critical water drainage rate*

$$\begin{aligned}
& Q_{wdc} \\
&= \frac{Q_{op} M B_o h'_w \ln\left(\frac{r'_e}{r'_w}\right) + S_{pp-op}}{B_w h'_o \left[ (1 - D_{di}) \ln\left(\frac{r'_e}{r'_w}\right) + S_{pp-wd} - D_{di} (S_{pp-wi} + S_{fd}) \right]} \\
&+ \frac{0,003066 K_w h'_w (\gamma_w - \gamma_o)}{\mu_w B_w} \frac{[h'_{wo} - h'_{op} - h'_{wo} D_{di}]}{\left[ (1 - D_{di}) \ln\left(\frac{r'_e}{r'_w}\right) + S_{pp-wd} - D_{di} (S_{pp-wi} + S_{fd}) \right]}
\end{aligned}$$

o. Critical D/I spacing

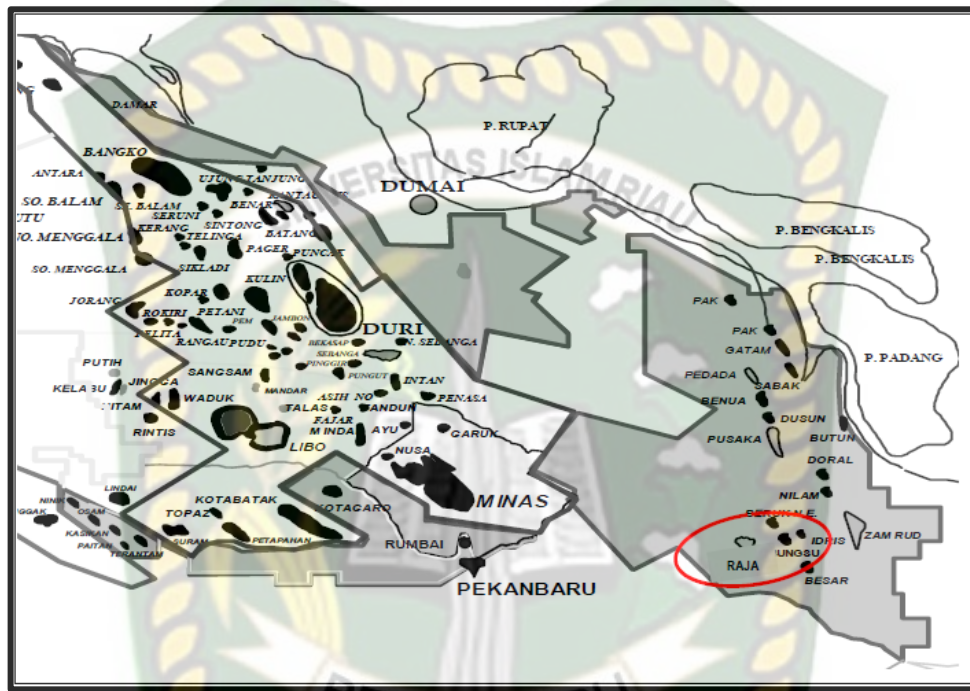
$$\begin{aligned}
h_{dic} = & \sqrt{\frac{\left[ \frac{h'_{wo} Q_{wd} B_w h'_o}{M B_o h'_w} \left[ \ln\left(\frac{r'_e}{r'_w}\right) + S_{pp-wi} + S_{fd} \right] \right]}{\left[ \ln\left(\frac{r'_e}{r'_w}\right) + S_{pp-op} \right] \left( \frac{\partial Q_{opc}}{\partial h_{di}} \right)}} \\
& - \sqrt{\frac{0,003066 h'_{wo} K_o h'_o h'_{ow} (\gamma_w - \gamma_o)}{\mu_o B_o \left[ \ln\left(\frac{r'_e}{r'_w}\right) + S_{pp-op} \right] \left( \frac{\partial Q_{opc}}{\partial h_{di}} \right)}} - h'_{wo}
\end{aligned}$$

### 3.4 TINJAUAN LAPANGAN

Lapangan Raja adalah lapangan yang dulunya dikelola oleh PT. Caltex Pasific Indonesia (2002) yang termasuk kepada Blok Cekungan Sumatra bagian tengah. Lapangan ini ditemukan pada tahun 1978 yang mempunyai 10 formasi seluas 1101 acre dan mulai diproduksi pada tahun 1984 sebanyak 13 sumur. Sejak pertama ditemukan hingga tahun 2017 jumlah sumur yang telah dibor mencapai 27 sumur produksi, 2 sumur injeksi, 1 sumur disposal dan 1 fasilitas *Gathering Station* (GS). Air yang terproduksi sebagian digunakan untuk sumur injeksi guna meningkatkan produksi minyak dan sebagiannya lagi dibuang ke sumur disposal. Sumur produksi pada lapangan raja menggunakan pompa *Electrical Submersible Pump/ESP*, *Progressing Cavity Pump/PCP*, dan *Sucker Rod Pump(SRP)*. Kebanyakan sumur pada lapangan raja mengandung pasir yang dapat merusak pompa SRP. Oleh karena itu kebanyakan sumur pada lapangan ini menggunakan pompa PCP dan ESP. Secara umum perangkat minyak bumi pada lapangan ini merupakan kombinasi antara lipatan dan patahan dengan tenaga pendorong alami *reservoirnya* adalah air (*strong water drive*). Produksi lapangan Raja semuanya berasal dari lapisan *alva sand*. Lapangan raja terdiri dari 2 lapisan *reservoir* yaitu lapisan Bekasap (Bekasap 1440' *sand*, Bekasap 1460' *sand*, Bekasap 1900' *sand*)



dan lapisan Bangko (Bangko 1550' *sand*, dan Bangko 1570' *sand*). Sumur RJ#08 dan RJ#22 diproduksi dari lapisan *reservoir* Bekasap 1440' *sand*, Bekasap 1460' *sand* dan Bangko 1570' *sand*.



Gambar 3. 2 Lokasi Lapangan Raja

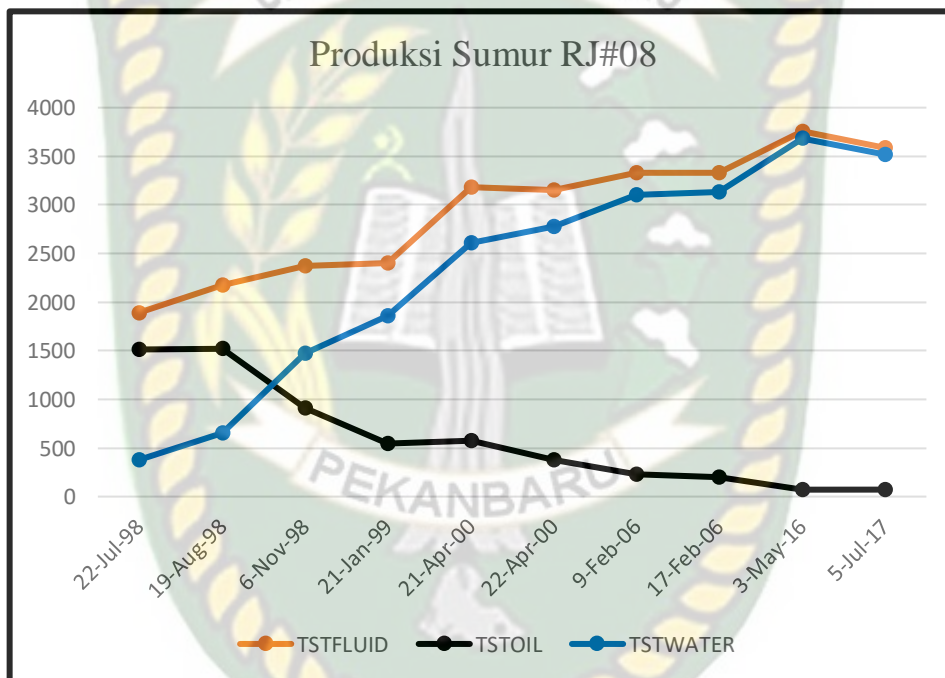
Lapangan Raja terletak di kabupaten Siak Sri Indrapura, Provinsi Riau. Lapangan raja adalah salah satu lapangan yang sekarang dikelola oleh BOB PT. BSP – Pertamina Hulu dengan sistim bagi hasil (*Production Sharing*).

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 KONDISI SUMUR

#### 4.1.1 Sumur RJ#08

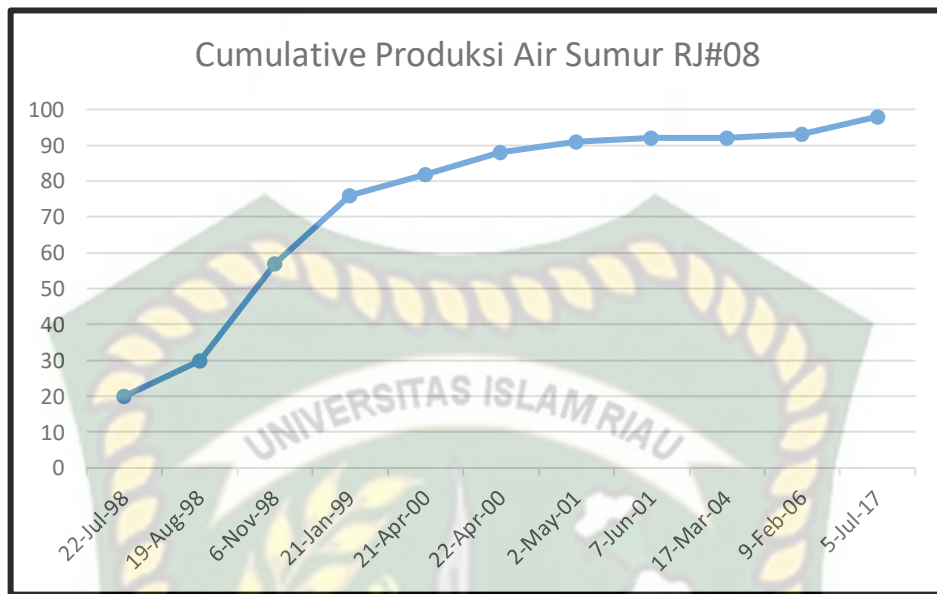
Sumur RJ#08 mulai diproduksi sejak 16 januari 1982 dengan kumulatif produksi hingga 2017 sebesar 4.597.395 bbl. Berikut grafik sejarah produksi sumur RJ#08;



Grafik 4. 1 Grafik Produksi Fluida Sumur RJ#08

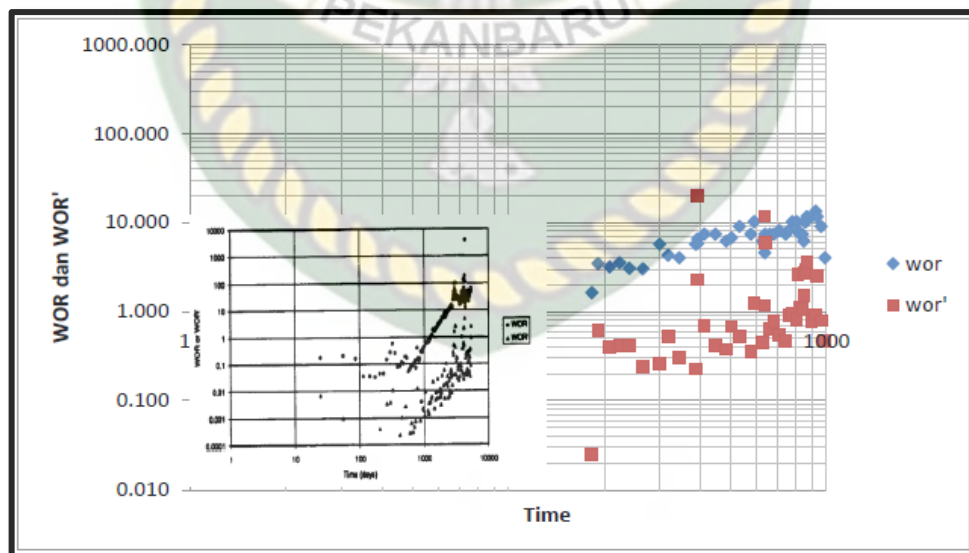
Pertama sumur ini diproduksi laju alir minyak cukup tinggi mencapai 1373 bopd dan nilai *water cut* hanya 5%. Seiring berjalannya waktu, nilai *water cut* mulai naik menjadi 98% pada Juli 2017, dan nilai produksi minyak turun menjadi 73 bopd.

Identifikasi *water coning* pada sumur ini akan menggunakan metode K.S Chan dengan menggunakan plot WOR dan WOR' vs *time* dan membandingkan analisis dari K.S Chan. Berikut adalah grafik produksi *cumulative* air pada sumur RJ#08;



**Grafik 4. 2** Grafik Produksi Air Sumur RJ#08

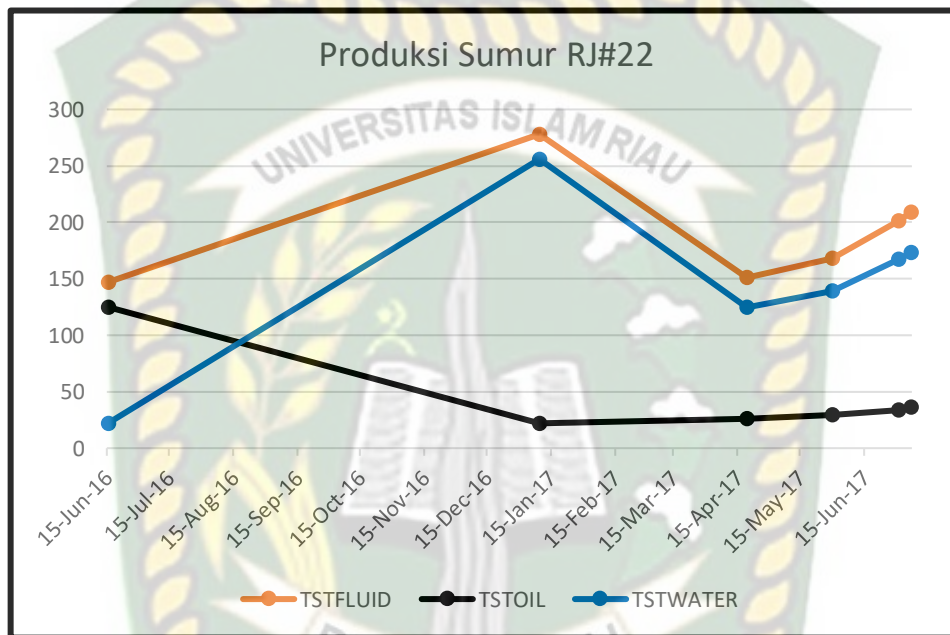
Dengan menggunakan plot analisis K.S Chan permasalahan yang terjadi dengan sumur RJ#08 adalah *water channeling*. Berikut gambar plot dari K.S Chan;



**Gambar 4. 1** Analisis Permasalahan Sumur RJ#08

#### 4.1.2 Sumur RJ#22

Sumur RJ#22 mulai memproduksi pada tahun 1986 dengan kumulatif produksi hingga bulan juli 2017 sebesar 2.220.181 bbl. Berikut grafik sejarah produksi pada sumur RJ#22;

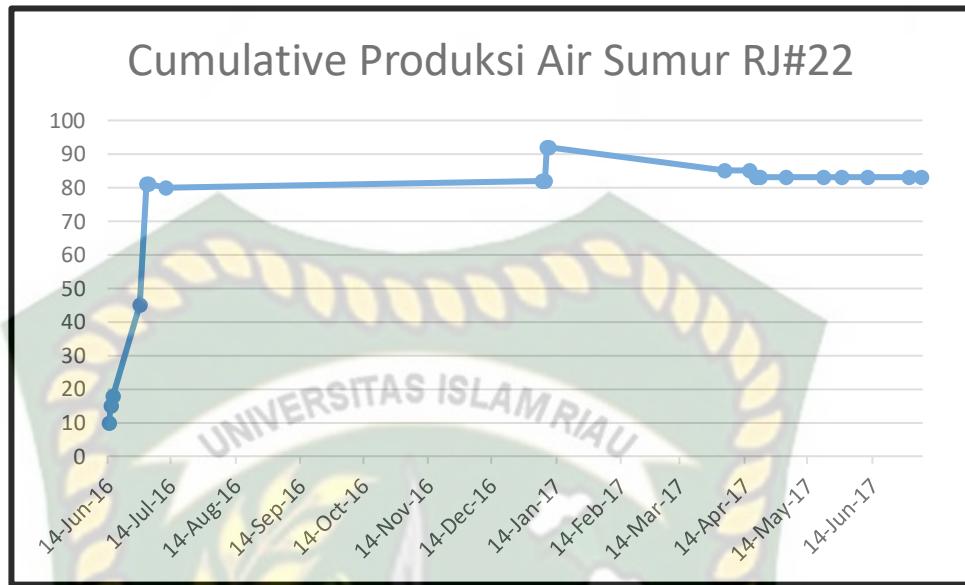


Grafik 4.3 Grafik Produksi Fluida Sumur RJ#22

Pada awal sumur ini diproduksi, laju alir minyak cukup tinggi mencapai 1334 bopd dengan nilai *water cut* 17%. Namun seiring berjalannya waktu diproduksikannya sumur, nilai laju alir minyak kian berkurang dan nilai *water cut* bertambah besar. Pada Juli 2017 produksi minyak hanya 37 bopd dengan nilai *water cut* mencapai 83% dari produksi fluida.

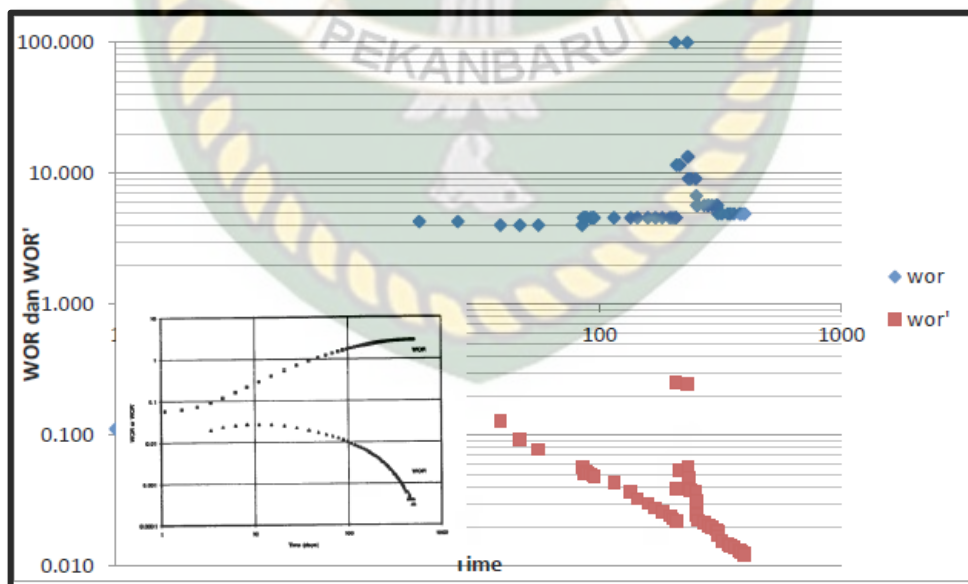
Identifikasi *water coning* pada sumur ini sama dengan sumur RJ#08 dengan menggunakan metode K.S Chan, plot WOR dan WOR' vs *time* dan membandingkan analisis dari K.S Chan. Berikut adalah grafik produksi *cumulative* air pada sumur RJ#22;





**Grafik 4.4** Grafik Produksi Air Sumur RJ#22

Dengan menggunakan plot analisis K.S Chan permasalahan yang terjadi dengan sumur RJ#22 adalah *water coning*. Berikut gambar plot dari K.S Chan;

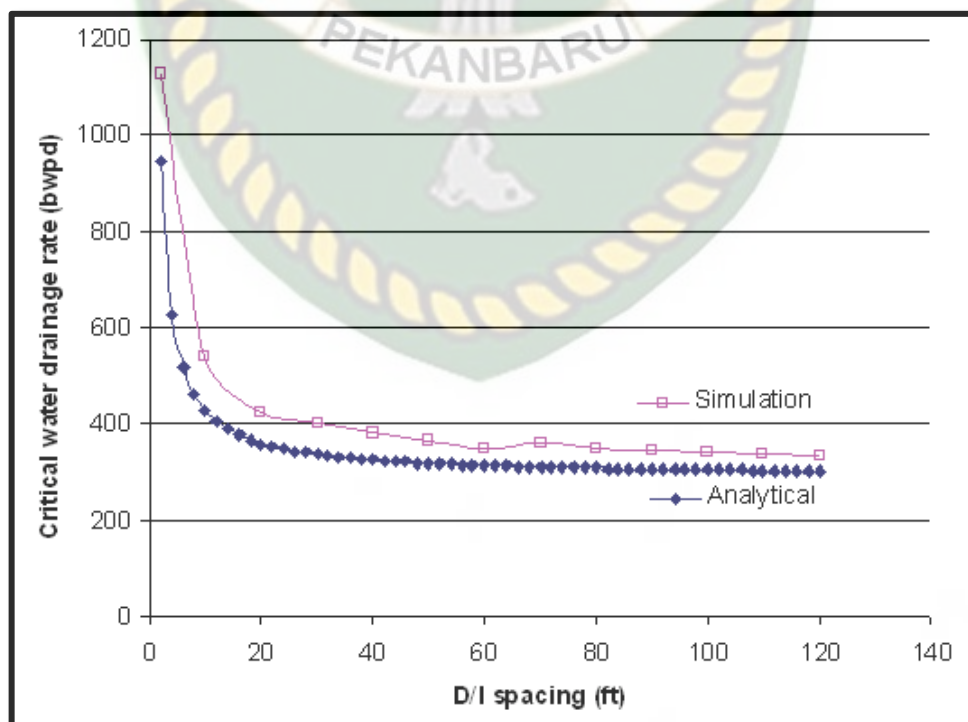


**Gambar 4.2** Analisis Permasalahan Sumur RJ#22

#### 4.2 DESAIN METODE *DOWNHOLE WATER LOOP*

Perhitungan desain *downhole water loop* menggunakan persamaan yang dibuat oleh L.Jin dan A.K Wojtanowicz pada tahun 2011 mengikuti beberapa asumsi; *reservoir* menggunakan tenaga pendorong *bottom water*, aliran fluida radial dan hukum darcy, tidak adanya *gas cap* pada *reservoir*, zona transisi air diabaikan dan panjang perforasi pengurasan air dan injeksi air adalah sama. Dengan mengikuti asumsi yang dibuat oleh L. Jin dan A.K Wojtanowicz maka desain sumur *downhole water loop* pada sumur RJ#08 dan RJ#22 adalah pada gambar 2.9. Pada gambar 2.9 dapat dilihat bahwa desain sumur *downhole water loop* berbeda dengan sumur konvensional yang telah terpasang pada sumur RJ#08 dan RJ#22.

Menurut L. Jin dan A.K Wojtanowicz pada 2009 penentuan laju alir pengurasan air menggunakan persamaan  $Q_{opc}$  adalah jika laju alir pengurasan air/ $Q_{wd}$  maksimal yang dihasilkan pompa diketahui. Sedangkan untuk persamaan  $Q_{wdc}$  digunakan untuk menghitung laju alir pengurasan air dengan laju produksi minyak/ $Q_{op}$  yang ditentukan.



Gambar 4. 3 Pemberian Laju Alir Pengurasan Berdasarkan Jarak D/I

Pada gambar 4.3 adalah penelitian yang dilakukan L. Jin dan A.K Wojtanowicz pada tahun 2011 dengan membandingkan hasil simulasi dengan persamaan analitik untuk mengetahui perubahan laju alir pada pengurasan air terhadap jarak D/I yang diberikan dengan  $Q_{op}$  sebesar 1000 bopd.

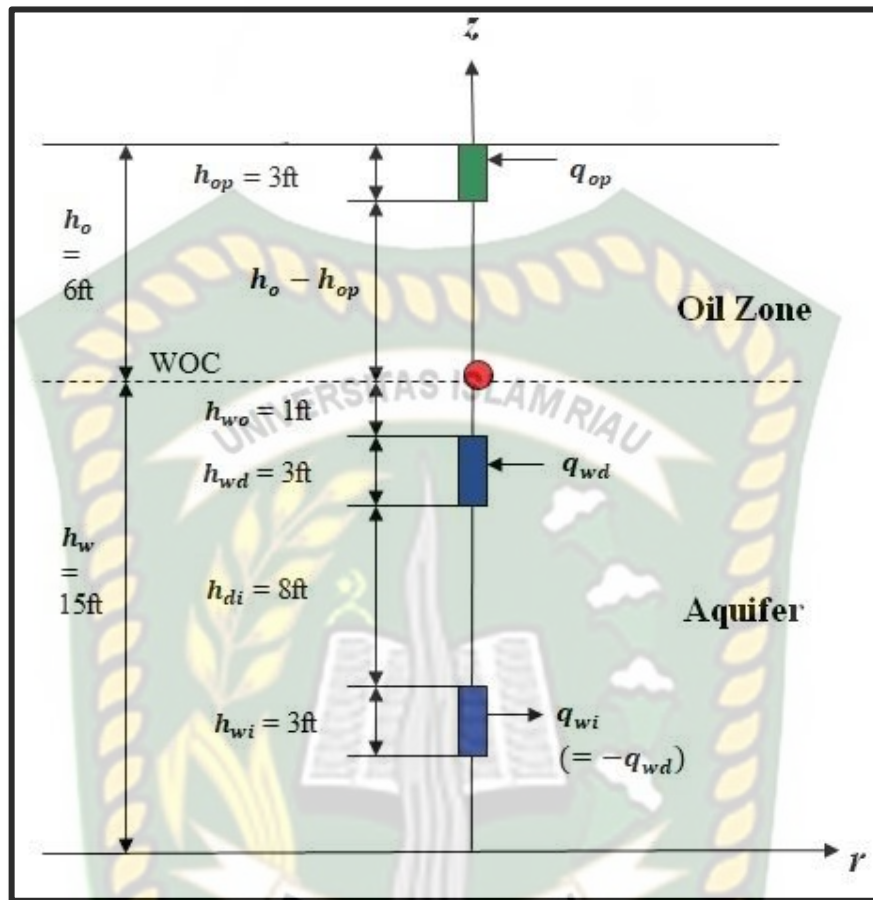
Pemberian laju alir air pengurasan pada sumur RJ#08 dengan jarak D/I 8ft, maka penggunaan laju alir pengurasan berada pada 500 bwpd, jarak kritis D/I didapatkan dengan rumus yang disediakan oleh L. Jin dan A.K Wojtanowicz. Dengan menggunakan rumus  $h_{diC}$  pada sumur RJ#08 maka jarak kritis D/I adalah sebesar 2,7546 ft.

Pada sumur RJ#22 pemberian laju alir pengurasan air berada pada 500 bwpd dengan jarak D/I sebesar 13 ft. Dengan jarak kritis D/I pada sumur RJ#22 didapat adalah 3,9763 ft.

Pemberian jarak antara WOC dengan batas atas perforasi pengurasan air/ $h_{wo}$ , L. Jin dan A.K Wojtanowicz tidak memberikan perhitungan khusus. Karna efek yang mempengaruhi laju alir minyak pada sumur DWL paling besar adalah laju alir pengurasan air/ $Q_{wd}$ , viskositas minyak, ketebalan zona minyak dan seterusnya. Maka pemberian jarak  $h_{wo}$  merujuk kepada persamaan  $h_{diC}$ , dimana pada persamaan  $h_{diC}$  memberikan batas kritis pada *bottom completion*, yaitu jarak antara perforasi pengurasan air dan injeksi air harus lebih besar dari 0 dan lebih kecil dari 0.8 zona air.

#### 4.2.1 Sumur RJ#08

Dengan menggunakan desain sumur DWL untuk sumur RJ#08, maka kompleksi sumur RJ#08 akan dirubah ke mode DWL sebagai berikut;



**Gambar 4. 4** Sumur RJ#08 Dengan Metode *Downhole Water Loop*

Dari gambar 4.4 dapat dilihat bahwa ada penambahan perforasi pada *bottom completion*, menurut data pada sumur RJ#08, kedalaman WOC berada pada 1603', dengan menggunakan kedalaman WOC sebagai patokan penempatan perforasi pada *bottom completion* dan *top completion*, maka perforasi pengurasan air berada pada kedalaman 1604' – 1607' dengan interval perforasi 3 ft dan penambahan perforasi injeksi air pada kedalaman 1615' – 1618' dengan interval perforasi 3 ft, serta jarak antara perforasi pengurasan dan injeksi yang dipakai adalah sebesar 8 ft dengan jarak antara perforasi pengurasan dengan batas WOC adalah sebesar 1 ft. Jarak minimal antara perforasi pengurasan dengan injeksi ditentukan pada rumus yang dibuat oleh L. Jin dan A.K Wojtanowich  $h_{diC}$  dengan jarak minimal sebesar 2,7546 ft ( $0 < 2,7546 < 0,8 h_w$ ) pada sumur RJ#08. Dengan menggunakan desain sumur pada gambar 4.4, perhitungan laju alir minyak pada sumur RJ#08



untuk metode DWL menggunakan persamaan L. Jin dan A.K Wojtanowicz dapat dilihat pada tabel 4.1

**Tabel 4. 1** Hasil Perhitungan Sumur RJ#08 *Downhole Water Loop*

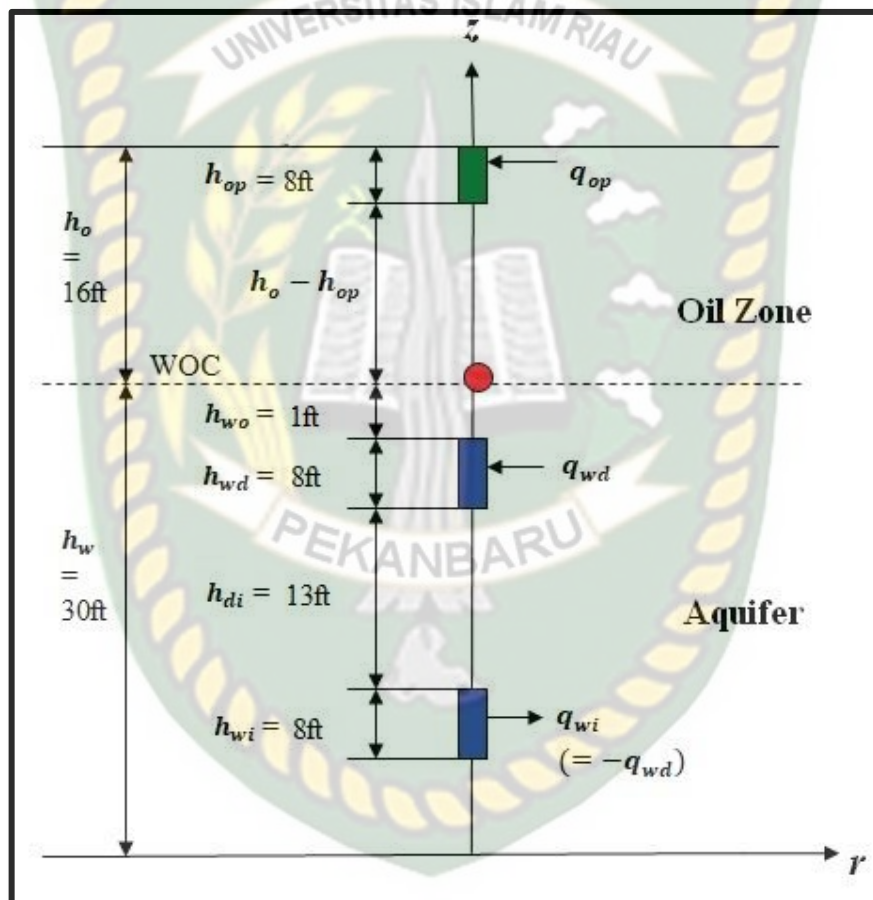
<b>Hasil perhitungan desain DWL pada sumur RJ#08</b>	
<b>Parameter</b>	<b>Sumur RJ#08</b>
$S_{pp}$	-4,2071
$r_D$	0,0332
$h_{pD}$	0,5
$h_{lD}$	0,16
A	3,5087
B	1,8691
$r'_e$	4,6616
$r'_w$	0,6083
$h_o'$	1,8879
$h_{op}'$	1,5876
$h_w'$	2,3740
$h_{wo}'$	1,2063
$h_{wd}'$	1,5876
$h_{wi}'$	1,5876
$h_{di}'$	2,0287
$D_{di}$	0,4929
M	1,8646
$h_{diC}$	2,7546

Sebelum menggunakan desain metode DWL, sumur RJ#08 memproduksi minyak sebesar 73 bopd dengan air yang naik ke permukaan sebesar 3573 bwpd. Dengan menggunakan desain sumur DWL, Perhitungan laju alir kritis minyak pada sumur DWL digunakan persamaan  $Q_{opC}$  dengan laju pengurasan dan injeksi air sebesar 500 bwpd menghasilkan laju alir kritis minyak sebesar 129,8396 bopd. Jika

laju alir minyak melebihi laju alir 129,8396 dengan pengurasan air sebesar 500 bwpd maka water coning akan terjadi.

#### 4.2.2 Sumur RJ#22

Perubahan model sumur terpasang pada RJ#22 ke sumur DWL adalah sebagai berikut;



**Gambar 4.5** Sumur RJ#22 Dengan Metode *Downhole Water Loop*

Dari gambar 4.5 dapat dilihat bahwa ada penambahan pada *bottom completion*, kedalaman WOC pada sumur RJ#22 berada pada 1574', maka penempatan perforasi pengurasan air pada kedalaman 1575' – 1583' dengan interval perforasi 8 ft dan penambahan perforasi pada injeksi air pada kedalaman 1596' – 1604' dengan interval perforasi 8 ft, serja jarak antara perforasi pengurasan dan injeksi yang

digunakan adalah sebesar 13 ft dengan jarak minimal  $h_{diC}$  adalah 3,9763 ft ( $0 < 3,9763 < 0,8 h_w$ ) dan jarak antara perforasi pengurasan dengan batas WOC adalah sebesar 1 ft. Dengan menggunakan desain sumur pada gambar 4.5, perhitungan laju alir minyak pada sumur RJ#22 untuk metode DWL menggunakan persamaan L. Jin dan A.K Wojtanowicz dapat dilihat pada tabel 4.2

**Tabel 4. 2** Hasil Perhitungan Sumur RJ#22 *Downhole Water Loop*

Hasil perhitungan desain DWL pada sumur RJ#22	
Parameter	Sumur RJ#22
$S_{pp}$	-23,9877
$r_D$	0,0124
$h_{pD}$	0,26
$h_{iD}$	0,0625
A	7,8431
B	3,8834
$r'_e$	4,6616
$r'_w$	0,6083
$h_o'$	2,4126
$h_{op}'$	2,0287
$h_w'$	2,8232
$h_{wo}'$	1,2063
$h_{wd}'$	2,0287
$h_{wi}'$	2,0287
$h_{di}'$	2,2905
$D_{di}$	0,3449
M	1,8646
$h_{diC}$	3,9763

Sebelum menggunakan desain sumur DWL, sumur RJ#22 memproduksi minyak sebesar 37 bopd dengan air yang naik ke permukaan sebesar 182 bwpd.

Dengan menggunakan desain sumur DWL, perhitungan laju alir kritis minyak pada sumur DWL digunakan persamaan  $Q_{opC}$  dengan laju alir pengurasan dan injeksi air sebesar 500 bwpd menghasilkan laju alir kritis minyak sebesar 154,6872 bopd.





## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut;

1. Dengan menggunakan desain sumur *downhole water loop*, sumur RJ#08 mempunyai nilai  $h_{di}$  sebesar 8 ft dan panjang dari perforasi pengurasan dan injeksi air yaitu 3 ft. Sedangkan pada sumur RJ#22 mempunyai zona *aquifer* yang lebih tebal maka nilai  $h_{di}$  adalah 13 ft dan panjang perforasi pengurasan dan injeksi air sebesar 8 ft.
2. Penggunaan laju pengurasan air sebesar 500 bwpd pada sumur RJ#08 dapat meningkatkan laju alir minyak menjadi 129,8396 bopd yang sebelumnya hanya 73 bopd. Pada sumur RJ#22 yang produksi minyak 37 bopd meningkat menjadi 154,6872 bopd dengan laju pengurasan air sebesar 500 bwpd.

### 5.2 SARAN

Untuk pembaca/peneliti selanjutnya dapat melanjutkan penelitian ini dengan saran dari peneliti adalah sebagai berikut;

1. Melakukan penelitian menggunakan sumur dengan zona *aquifer* yang lebih tebal >100 ft.
2. Menghitung keekonomian sumur RJ#08 dan RJ#22 setelah dilakukannya penerapan metode *downhole water loop*.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, T. (2006). *Reservoir Engineering Handbook*, 3th Edition (3rd ed.). Houston, Texas: Elsevier.
- Ahmed, T. (2010). *Reservoir Engineering Handbook*, 4th Edition (4th ed.). Houston, Texas: Elsevier.
- Al-azmi, N. H., Aladwani, F. A., & Kasaraneni, P. R. (2017). Water Control Management Utilizing Downhole Water Sink Technology : Application of a Reservoir in the Middle East. *SPE-187663-MS*, (15-18 October), 1–18.
- Aliev, F. (2014). *Water Coning*, (July).
- Al-Khelaiwi Faisal. (2013). *A Comprehensive Approach to the Design of Advanced Well Completions Faisal Turki Manee Al-Khelaiwi* A thesis submitted for the degree of Doctor of Philosophy March , 2013 Volume II This Thesis is submitted in two volumes, *II*.
- Alrashidi, A., Company, A. P., Alansari, A., & Radcliffe, A. (2020). IPTC-20137-Abstract Shrouded Y-Tool Application for Optimum ESP System Run Life.
- Arslan, O. (2005). Maximum Revenue for Oil Wells With Optimized Downhole Water Drainage, *Canadian International Petroelum Conference*, (05-07 June), (1).
- Bellarby, J. (2009). *WELL COMPLETION DESIGN* (First edit). Aberdeen, UK: Elsevier.
- Devold Havard. (2013). *Oil and gas production handbook An introduction to oil and gas production, transport, refining and petrochemical industry*. (Devold Havard, Ed.) (3.0). Oslo: ABB AS. Retrieved from [www.abb.com/oilandgas](http://www.abb.com/oilandgas)
- Gannaway, G. R., Ibrahim, M., & Corporation, A. (2016). SPE-181470-MS Multiphase Analytics in a High Water-Cut Environment, (September), 26–28.
- Glover, P. W. J. (n.d.). *Formation Evaluation*. University of Aberdeen, UK.

- Inikori, S. O., & Wojtanowicz, A. K. (2001). SPE 66536 Contaminated Water Production in Old Oil Fields With Downhole Water Separation: Effects of Capillary Pressures and Relative Permeability Hysteresis.
- Jin, L., & Wojtanowicz, a K. (2008). Performance Analysis of Wells with Downhole Water Loop Installation for Water Coning Control. *Canadian International Petroelum Conference*, (17-19 June), 38–45.
- Jin, L., & Wojtanowicz, A. (2010). Coning Control and Recovery Improvement Using In-situ Water Drainage/Injection in Bottom - Water - Drive Reservoir. *SPE 129663*, 1991(24-28 April), 1–14. <https://doi.org/10.2523/129663-ms>
- Jin, L., & Wojtanowicz, A. K. (2011). Minimum Produced Water from Oil Wells with Water-Coning Control and Water-Loop Installations. *SPE 143715*, 2005(21-23 March), 1–18. <https://doi.org/10.2118/143715-ms>
- Jin, L., & Wojtanowicz, A. K. (2011). SPE 141470 Analytical Assessment of Water-free Production in Oil Wells with Downhole Water Loop for Coning Control.
- Jin, L., Wojtanowicz, A. K., & Hughes, R. G. (2009). An analytical model for water coning control installation in reservoir with bottomwater. *Journal of Canadian Petroleum Technology*, 49(16-18 June), 1–12. <https://doi.org/10.2118/137787-PA>
- Jupriansyah, J., & Balikpapan, S. T. T. M. (2019). SPE-194565-MS An Integrated Study of Water Coning Control with Downhole Water Sink Completion Approaches in Multilayered - Strong Water Drive Reservoir to Improve Oil Recovery.
- Li, K., Beijing, G., Ren, X., Yangtze, U., & Li, L. (2011). SPE 143481 A New Model for Predicting Water Cut in Oil Reservoirs, (2).
- Okon, A. N., & Daniel, D. D. (2018). Available online [www.jsaer.com](http://www.jsaer.com) Research Article Water Coning Attenuation - A Look at Intelligent Well Completion Approach, 5(11), 274–284.
- Okon, A. N., Appah, D., & Akpabio, J. U. (2018). A Critical Evaluation of Water Coning Correlations in Vertical Wells. *American Journal of Science, Engineering and Technology*, 3(3-19 Januari), 1–9. <https://doi.org/10.11648/j.ajset.20180301.11>

- Okon, A. N., Olagunju, D. T., & Akpabio, J. U. (2017). Available online [www.jsaer.com](http://www.jsaer.com) Review Article Water Coning Control : A Comparison of Downhole Water Sink and Downhole Water Loop Technologies, *4*(12), 137–148.
- Ould-amer, Y., Chikh, S., & Naji, H. (2004). Attenuation of water coning using dual completion technology, *45*, 109–122.  
<https://doi.org/10.1016/j.petrol.2004.04.004>
- Prasun, S., & Wojtanowicz, A. K. (2016). SPE-184075-MS Determination and Implication of Ultimate Water Cut in Well-Spacing Design for Reservoirs with Water Coning.
- Qin, W., Luo, P., Meng, J., Li, H., Mao, T., Petrochina, X. O., Feng, M. (2017). SPE-188958-MS Successful Field Trials of Water Control in High Water Cut Wells Using an Improved Downhole Water Sink / Drainage System.
- Study, S. C., Okafor, I. S., & Ubani, C. E. (2018). Development Strategies for Oil Reservoirs with Coning Problems : A.
- Wojtanowicz, Andrew K, J. L. (2018). Andrew K . Wojtanowicz \*, Lu Jin \*\*  
LOSS AND RESTORATION OF WATER CONING CONTROL – FIELD CASE HISTORY AND PREDICTION, *35*(1), 343–360.