

# ANALISIS SENSITIVITAS UNTUK MENENTUKAN UKURAN TUBING PRODUKSI YANG OPTIMUM DI SUMUR MINYAK

Karmila<sup>1\*</sup>, Deny Fatryanto E.W.E<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Sekolah Tinggi Teknologi Minyak dan Gas Bumi Balikpapan (STT Migas Balikpapan)  
Jl. Soekarno Hatta Km. 8, Karang Joang, Balikpapan

E-mail\*: karmila.melson@gmail.com

## Abstract

Production planning system is important thing in development phase of oil and gas field. The function is to transport of fluid from reservoir to surface facility until sales export point. In production system, one critical phase is determined production tubing that allow to accommodate optimum production rate both when well flow with natural flow or using artificial lift. Nodal analysis is common method that use to plan of production system. This method can give comprehensive view about whole integrated system. In this research, nodal analysis is used to determine optimum tubing size considering pressure profile that occurs in wellbore. Beggs & Brill method is used after comparison between available empiric and analytic model. This based on from model of flow regime in tubing when the well have big oil and gas ratio. The result of This research shown that tubing size determination have variation between wells. Well 1 will be effective using 4.5" tubing size, well 2 will be effective using 2.375" tubing size and well 3 will be effective using 2.375" tubing size. This determination based on performance curve for individual tubing size to production rate and considering changing in pressure curve (gradient transverse)

Keyword: Tubing Sizwe, Beggs&Brill, Nodal analisis, Oil

## Abstrak

Perencanaan sistem produksi merupakan bagian penting dalam fasa pengembangan lapangan minyak dan gas. Fungsinya adalah melakukan transportasi fluida dari reservoir ke fasilitas permukaan hingga ke titik fiskal ekspor. Dalam sistem produksi, salah satu fasa kritis adalah pemilihan ukuran tubing produksi yang mampu mengakomodasi laju alir optimum, baik pada saat sumur mampu mengalir secara alami (*natural flow*) maupun menggunakan metode

pengangkatan buatan (*artificial lift*). Analisis nodal merupakan metode yang umum digunakan dalam perancangan sistem produksi. Metode ini dapat memberikan gambaran yang komprehensif mengenai keseluruhan sistem yang terintegrasi. Dalam penelitian ini, analisis nodal digunakan untuk menentukan ukuran tubing yang optimal dengan mempertimbangkan profil tekanan yang terjadi dalam lubang sumur. Model Beggs & Brill digunakan setelah dilakukan perbandingan dengan model empirik dan analitik lain yang tersedia. Hal ini didasarkan pada pemodelan perubahan pola aliran di dalam tubing ketika sumur memiliki rasio minyak dan gas cukup besar. Hasil penelitian menunjukkan pemilihan ukuran tubing bervariasi untuk beberapa sumur. Sumur 1 efektif menggunakan tubing ukuran 4.5", Sumur 2 efektif menggunakan ukuran 2.375", dan Sumur 3 efektif menggunakan 2.375". Pemilihan ini juga didasarkan pada kurva performa masing-masing ukuran tubing terhadap laju produksi dan mempertimbangan kurva perubahan tekanan (*gradient transverse*).

Kata kunci: Ukuran Tubing Produksi, Beggs&Brill, Analisis Nodal, Sumur Minyak

## PENDAHULUAN

Tubing merupakan salah satu komponen yang penting pada sistem produksi. *Pressure drop* dalam *liquid lifting* dari dasar sumur ke permukaan dapat mencapai 80% dari *total pressure drop* pada sistem sumur minyak dan gas. Banyak sistem sumur minyak telah melakukan optimasi ukuran tubing. Ukuran tubing yang terlalu kecil akan membatasi rate produksi karena meningkatkan *friction resistance* yang menyebabkan terlalu banyak *flow velocity*. Kebalikannya, ukuran tubing yang terlalu besar akan menyebabkan terlalu banyak *liquid phase loss* karena *superficial slippage effect* karena terlalu banyak *downhole liquid loading* selama *lifting*. Oleh karena itu, analisis sensitivitas ukuran tubing harus dilakukan. Salah satunya dengan menggunakan analisis nodal.

Ukuran tubing harus dioptimasi untuk mengurangi kehilangan tekanan (*pressure drop*) serendah mungkin ketika *lifting* sehingga dapat meningkatkan usia (*lifetime*) produksi sumur. Di dalam paper ini, penulis akan menganalisis parameter yang penting serta merekomendasikan pemilihan ukuran tubing yang sesuai dengan analisis nodal untuk mencapai produksi optimal tercapai.

## METODA PENELITIAN

### Sintesis Data Reservoir dan Sumur

Sebuah reservoir minyak berproduksi dengan mekanisme pendorong water drive, diproduksi melalui 3 sumur vertical. Struktur reservoir dikembangkan berdasarkan model geologi termasuk posisi dari setiap sumur di reservoir. Semua sumur berproduksi dari layer yang sama. Hal ini dapat dilihat pada reservoir pressure untuk ketiga sumur adalah sama dan lokasi sumur dipilih menggunakan kriteria optimasi produksi. Model reservoir dijalankan dengan 3 sumur produksi menggunakan simulator reservoir untuk kurun waktu 20 tahun dan menghasilkan performa produksi untuk setiap sumur.

Tabel 1. Data Sumur

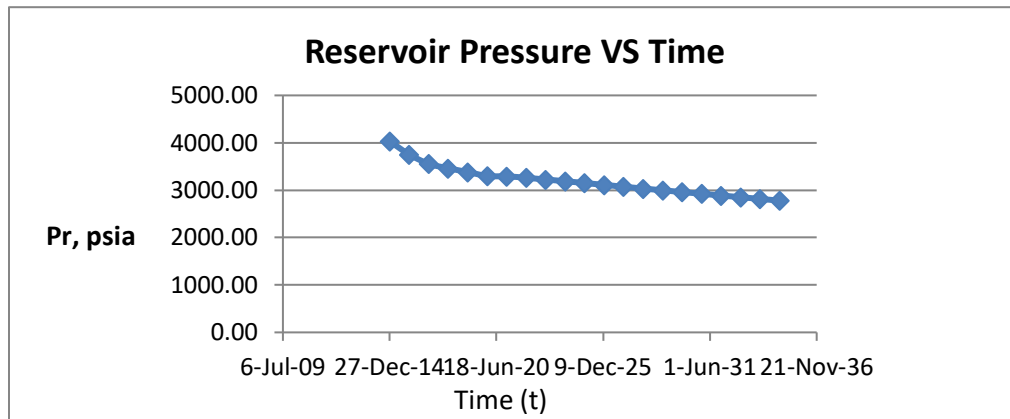
| Well No | Depth (ft) | Temperature @ depth (°F) |
|---------|------------|--------------------------|
| Well #1 | 9100       | 225                      |
| Well #2 | 8100       | 209.6                    |
| Well #3 | 9500       | 232                      |

Data temperature tidak diketahui dari data simulasi yang diberikan sehingga penulis menggunakan asumsi untuk menentukannya, dimana asumsi yang digunakan adalah gradient geothermal sebesar 16°F per 1000 ft ditambah ambient temperature untuk Indonesia sebesar 80°F sehingga didapatkan harga temperature untuk masing masing sumur pada kedalaman tertentu sesuai tabel 1. Untuk data-data PVT serta data reservoir initial lainnya, ditunjukkan oleh tabel 2.

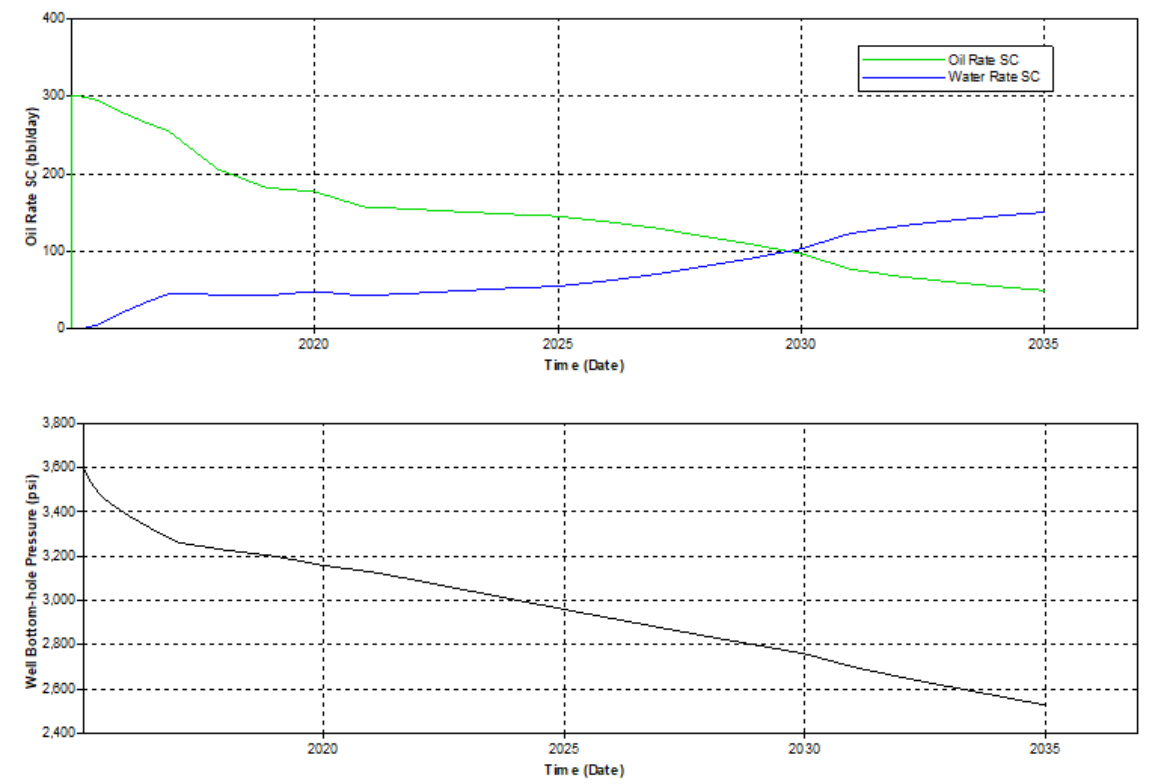
Tabel 2 Data PVT dan Reservoir

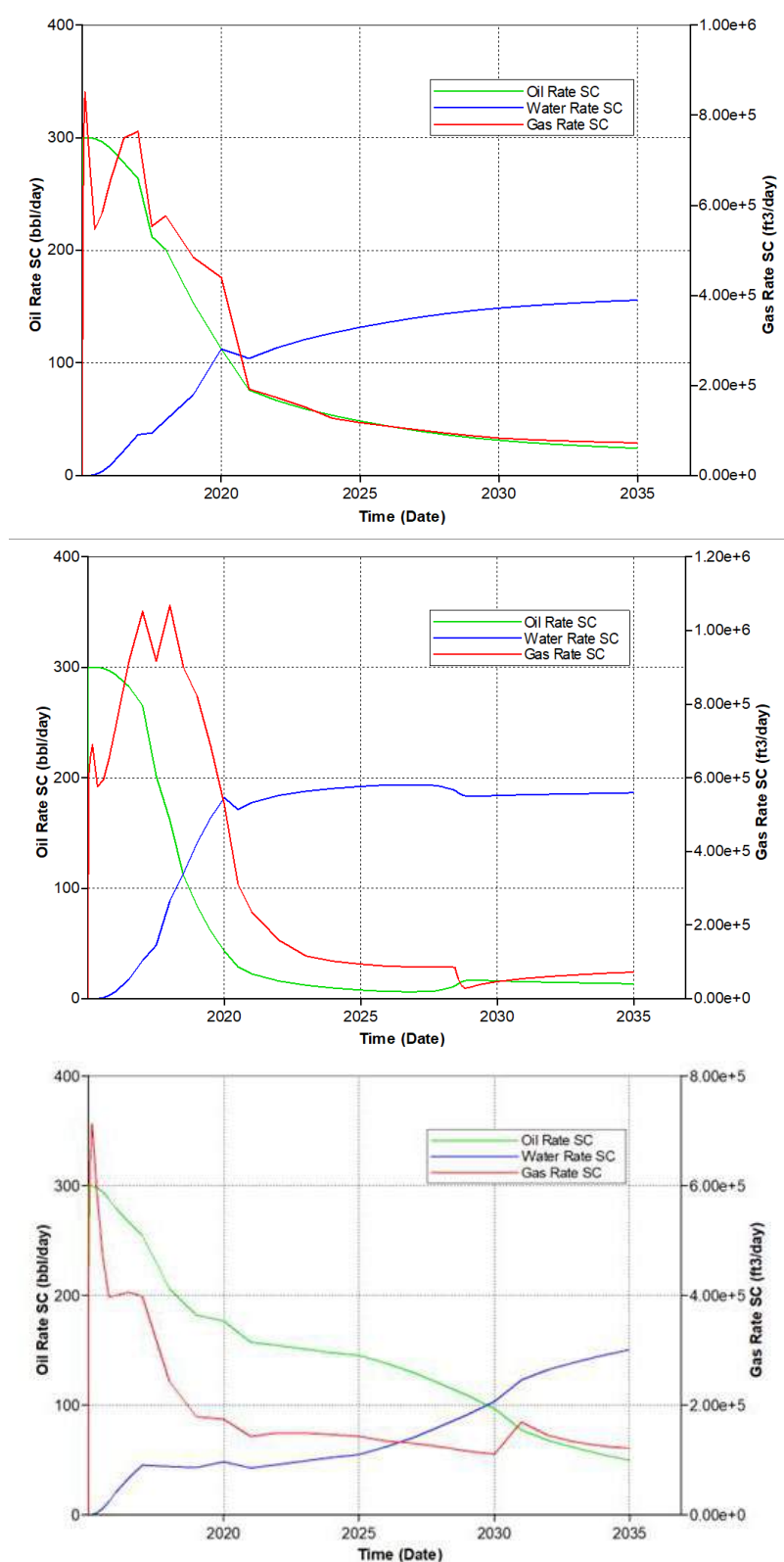
| PARAMETER                 | Well #1  | Well #2  | Well #3  |
|---------------------------|----------|----------|----------|
| SG Oil (°API)             | 35       | 35       | 35       |
| SG Gas                    | 0.8      | 0.8      | 0.8      |
| Reservoir Pressure (Psia) | 4028.38  | 4028.38  | 4028.38  |
| GOR (SCF/STB)             | 883.5    | 742.408  | 742.408  |
| Water Cut (%)             | 0        | 0        | 0        |
| Test Pressure (Psia)      | 3994.199 | 3631.565 | 1833.005 |
| Test Rate (bbl/day)       | 149.997  | 100      | 124.9994 |

Gambar 1 menunjukkan performance pada setiap sumur berdasarkan simulasi reservoir



Gambar 1. Grafik penurunan reservoir pressure seiring waktu





Gambar 2. Grafik Performance masing masing sumur

Enam grafik yang ditunjukkan pada gambar 2 menunjukkan performance sumur sumur yang akan dianalisa. Grafik tersebut mewakili hubungan antara rate produksi minyak, air dan gas terhadap waktu serta hubungan antara tekanan dasar lubang ( $P_{wf}$ ) terhadap waktu. Hubungan ini menjadi dasar penting dalam melakukan analisa, seperti misalnya dalam membuat hubungan laju alir dengan tekanan dasar lubang atau lebih dikenal dengan IPR, diperlukan ketepatan dalam

Menentukan metode IPR yang digunakan. Secara sederhana, ketika masih belum ada air yang diproduksi, maka dapat digunakan metode IPR dua fasa Vogel jika reservoir bersifat *saturated*, atau partial dua fasa jika reservoir bersifat *undersaturated* dan tekanan dasar lubang dibawah tekanan *bubble* atau bisa menggunakan straight line dari IPR darcy jika reservoir bersifat *undersaturated*. Namun hal ini menjadi berbeda ketika sudah ada produksi air yang ditandai dengan nilai water cut, maka harus digunakan IPR tiga fasa, contohnya metode Wiggins atau Metode Pudjo Sukarno. Metode Wiggins cenderung lebih sederhana dibanding dengan Metode Pudjo Sukarno dengan jumlah variable yang lebih sedikit dengan perbedaan pada nilai koefisien vogel, sedangkan metode Pudjo Sukarno cenderung lebih rumit dengan adanya tambahan variable C sehingga dalam penggunaannya dilapangan dianggap kurang praktis. Selain itu memprediksi *performance* sumur dimasa yang akan datang juga menjadi penting, sehingga hal ini juga akan dilakukan. Untuk pemilihan metode yang akan digunakan beserta alasan dan penjelasannya akan dijabarkan selanjutnya.

Tabulasi Rasio Minyak dan Gas (GOR), tekanan reservoir seiring waktu, Water Cut seiring waktu akan ditampilkan pada lembar lampiran. Data data ini juga menjadi penting karena memberikan pengaruh pada *vertical lift performance*. Dari ini dapat diketahui waktu maksimal natural flow dengan ukuran tubing tertentu masih dapat bekerja sebelum pengangkatan buatan (*artificial lift*) dibutuhkan. Pemilihan persamaan vertical lift yang akan digunakan akan dijelaskan pada pembahasan selanjutnya berdasarkan pertimbangan pertimbangan tertentu serta batasan batasan pada masing masing persamaan tersebut. Pada tabel 3 ditampilkan *production history* dari masing masing sumur pada reservoir ini.

**Tabel 3. *Production History* ketiga sumur berdasarkan hasil dari simulasi**

| DATE            | WELL 1  |             |            |           | WELL 2  |             |            |            | WELL 3  |             |            |           |
|-----------------|---------|-------------|------------|-----------|---------|-------------|------------|------------|---------|-------------|------------|-----------|
|                 | WBHP    | Oil Rate SC | Water Rate | Gas Rate  | WBHP    | Oil Rate SC | Water Rate | Gas Rate   | WBHP    | Oil Rate SC | Water Rate | Gas Rate  |
|                 | (psi)   | (bbl/day)   | (bbl/day)  | (ft3/day) | (psi)   | (bbl/day)   | (bbl/day)  | (ft3/day)  | (psi)   | (bbl/day)   | (bbl/day)  | (ft3/day) |
| <b>1/1/2015</b> | 3980.42 | 300.00      | 0.00       | 250052.9  | 3612.78 | 300.00      | 0.00       | 222722.34  | 3612.78 | 300.00      | 0.00       | 222722.47 |
| <b>1/1/2016</b> | 3638.02 | 291.12      | 8.88       | 653259.9  | 3233.30 | 293.77      | 6.23       | 732361.13  | 3376.07 | 280.30      | 19.70      | 399523.81 |
| <b>1/1/2017</b> | 3416.53 | 263.73      | 36.27      | 764042.8  | 2905.97 | 265.34      | 34.66      | 1051678.25 | 3259.96 | 254.88      | 45.12      | 398086.81 |
| <b>1/1/2018</b> | 3337.68 | 200.81      | 49.19      | 576840.3  | 2682.87 | 161.62      | 88.38      | 1068377.13 | 3226.24 | 206.06      | 43.94      | 243084.09 |
| <b>1/1/2019</b> | 3264.47 | 153.10      | 71.90      | 484357.6  | 2549.75 | 83.98       | 141.02     | 821513.81  | 3199.17 | 182.04      | 42.96      | 178757.52 |
| <b>1/1/2020</b> | 3180.47 | 112.60      | 112.40     | 439676.5  | 2485.74 | 43.04       | 181.96     | 526718.25  | 3156.97 | 176.75      | 48.25      | 174245.27 |
| <b>1/1/2021</b> | 3201.77 | 76.01       | 103.99     | 192059.8  | 2526.16 | 22.48       | 177.52     | 235855.73  | 3128.83 | 157.36      | 42.64      | 142773.69 |
| <b>1/1/2022</b> | 3174.22 | 66.54       | 113.46     | 173195.9  | 2522.86 | 15.95       | 184.05     | 158975.30  | 3087.77 | 154.29      | 45.71      | 149283.25 |
| <b>1/1/2023</b> | 3139.92 | 59.28       | 120.72     | 152552.5  | 2506.89 | 12.16       | 187.84     | 115859.99  | 3044.93 | 150.99      | 49.01      | 149006.38 |
| <b>1/1/2024</b> | 3107.20 | 53.39       | 126.61     | 127145.7  | 2476.20 | 9.61        | 190.39     | 101703.54  | 3001.94 | 147.75      | 52.25      | 146078.33 |
| <b>1/1/2025</b> | 3070.14 | 48.34       | 131.66     | 117314.1  | 2439.51 | 7.80        | 192.20     | 93843.23   | 2959.06 | 145.20      | 54.80      | 142878.95 |
| <b>1/1/2026</b> | 3032.22 | 43.93       | 136.07     | 109444.9  | 2400.63 | 6.39        | 193.61     | 88163.59   | 2917.82 | 138.14      | 61.86      | 134447.52 |
| <b>1/1/2027</b> | 2994.70 | 39.92       | 140.08     | 102073.9  | 2358.81 | 6.30        | 193.70     | 86431.21   | 2876.88 | 129.90      | 70.10      | 130255.26 |
| <b>1/1/2028</b> | 2957.87 | 36.48       | 143.52     | 94905.16  | 2314.72 | 8.24        | 191.76     | 86874.48   | 2836.58 | 119.43      | 80.57      | 123837.37 |
| <b>1/1/2029</b> | 2921.44 | 33.63       | 146.37     | 88612.38  | 2289.40 | 16.79       | 183.22     | 30627.18   | 2797.44 | 108.81      | 91.19      | 115823.91 |
| <b>1/1/2030</b> | 2885.71 | 31.30       | 148.70     | 83092.69  | 2253.77 | 16.05       | 183.95     | 46363.94   | 2758.51 | 96.84       | 103.16     | 110294.97 |
| <b>1/1/2031</b> | 2850.04 | 29.35       | 150.65     | 79929.16  | 2213.86 | 15.37       | 184.63     | 54838.71   | 2699.52 | 77.17       | 122.83     | 169232.31 |
| <b>1/1/2032</b> | 2814.22 | 27.74       | 152.26     | 77646.2   | 2173.46 | 14.86       | 185.14     | 60691.29   | 2653.58 | 67.66       | 132.34     | 144502.53 |
| <b>1/1/2033</b> | 2778.33 | 26.40       | 153.60     | 75673.88  | 2132.48 | 14.42       | 185.58     | 65344.00   | 2610.65 | 60.82       | 139.18     | 132438.73 |
| <b>1/1/2034</b> | 2742.63 | 25.23       | 154.77     | 73955.59  | 2091.31 | 13.97       | 186.03     | 69199.61   | 2568.74 | 54.73       | 145.27     | 125107.90 |
| <b>1/1/2035</b> | 2706.99 | 24.21       | 155.79     | 72643.33  | 2050.14 | 13.49       | 186.51     | 72138.70   | 2526.85 | 49.49       | 150.51     | 120968.77 |

Secara garis besar, pressure drop pada wellbore diakibatkan oleh tiga unsur utama, yaitu: Faktor Hidrostatik, Faktor Friski dan Faktor Kinetik. Menurut Hagedorn Brown, pressure drop pada aliran multifasa tersebut dapat dinyatakan dalam persamaan 1.

$$144 \frac{dp}{dz} = \bar{\rho} + \frac{f_F M_t^2}{7,413 \times 10^{10} D^5 \bar{\rho}} + \bar{\rho} \frac{\Delta (u_m^2)}{2 g_c \Delta z} \quad (1)$$

Dimana:

P = Tekanan, psia

H = kedalaman, ft

$\rho$  = density, lb<sub>m</sub>/ft<sup>3</sup>

f = friction factor, dimensionless

q = total liquid production rate, bbl/d

L = liquid

M = total mass of oil, water and gas associated with 1 bbl of liquid flowing into and out of the flow string, lb<sub>m</sub>/bbl

D = pipe diameter, ft

v = velocity, ft/sec

g<sub>c</sub> = gravity

Dalam menentukan ukuran tubing harus menyesuaikan dengan ukuran tubing yang tersedia dipasaran, dan *American Petroleum Institute* telah melakukan standarisasi tubing dan casing yang tertera pada API 5 CT. Hasil tes dari masing masing sumur dilakukan pendekatan statistic untuk mendapatkan nilai tekanan reservoir. Normalisasi data dibutuhkan sehingga bisa dapatkan nilai R square data tes mendekati 1.

Selanjutnya, pembentukan kurva IPR dilakukan untuk melihat performa aliran dari reservoir ke sumur. Kurva ini menjadi dasar perhitungan yang nantinya akan di *match* dengna kurva tubing. Metode Vogel masih menjadi pilihan pertama di samping karena metode ini cukup sederhana dan mudah digunaka serta kondisi reservoir yang memang sesuai dengan asumsi metode tersebut tanpa adanya watercut dan 2 fasa.

Pemilihan metode TPR diawali dengan melakukan *benchmarking* terhadap metode yang sudah tersedia. Hal ini untuk melihat kesesuain metode tersebut dengan kondisi sumur yang dianalisa. Hasilnya, metode Beggs & Brill paling sesuai karena perubahan pola aliran sebagai akibat dari perubahan jumlah gas didalam tubing baik yang terlarut maupun gas bebas bisa dimodelkan dengan baik oleh metode ini.

Pemilihan ukuran tubing didasari dengan ketersediaan tubing di pasaran. Dari nilai tersebut Artikel diterima 30 Januari 2021. Online 28 Februari 2021.

lalu dilakukan Analisa untuk melihat performa masing-masing ukuran dengan metode TPR yang sama. Analisa bisa dilakukan dengan melihat titik perpotongan antara kurva IPR dan Kurva IPR. Agar lebih memudahkan Analisa, nilai tersebut diplot dalam system plot sehingga perubahan aliran sebagai akibat perubahan ukuran tubing bisa dilihat dengan jelas. Slope juga menjadi salah satu pertimbangan sebagai nilai yang timbul akibat kemiringan garis system plot.

Banyak persamaan yang dikembangkan dalam menghitung dan menentukan kehilangan tekanan sepanjang tubing produksi atau *tubing performance relationship*. Persamaan persamaan tersebut dikembangkan berdasarkan asumsi dan batasan batasan tertentu. Oleh karena itu, memahami batasan setiap persamaan dan memahami kondisi yang akan dilakukan analisa menjadi sangat penting demi memperkecil kemungkinan terjadi eror atau *over/under predict*. Tabel 4 menunjukkan beberapa persamaan dan aplikasinya.

Tabel 4. Persamaan dan aplikasinya pada aliran multifasa

| PERSAMAAN            | MULTIFASA |            |          |            |
|----------------------|-----------|------------|----------|------------|
|                      | GAS       |            | LIQUID   |            |
|                      | VERTIKAL  | HORIZONTAL | VERTIKAL | HORIZONTAL |
| FANNING LIQUID       |           |            |          | v          |
| BEGGS & BRILL        | v         | v          | v        | v          |
| GRAY                 | v         |            |          |            |
| HAGEDORN & BROWN     |           |            | v        |            |
| FLANIGAN             |           | v          |          |            |
| MODIFIKASI FLANIGAN  |           | v          |          |            |
| WEYMOUTH (MULTIFASA) |           | v          |          |            |
| MODEL MECHANISTIC    | v         | v          | v        | v          |

Berikut adalah rangkuman dari beberapa metode dalam menganalisa TPR.

#### Persamaan Duns & Ros

- Ukuran Tubing : *Pressure drop* menjadi *over predicted* untuk ukuran tubing antara 1 dan 3 inch
- Oil Gravity : Akurat pada oil gravity antara 13-56 °API
- Gas Liquid Ratio : *Pressure drop* menjadi *over predicted* pada berapa pun nilai GLR, khususnya eror lebih besar dari 20% untuk GLR lebih besar dari 5000
- Water Cut : Model Dun & Ros tidak cocok untuk aliran multifasa

### Persamaan Hagedorn & Brown

- Ukuran Tubing : Akurat untuk ukuran tubing antara 1 dan 1.5 inch. Semakin besar ukuran tubin menyebabkan *overpredicted* pada *pressure drop*
- Oil Gravity : *Overpredicted* pada minyak berat (13-25°API) dan *underpredicted* pada minyak ringan (40-56°API)
- Gas Liquid Ratio : *Pressure drop* menjadi *over predicted* pada GLR lebih besar dari 5000
- Water Cut : Akurat untuk berbagai nilai water cut

### Persamaan Orkiszewski

- Ukuran Tubing : Akurat untuk ukuran tubing antara 1 dan 2 inch. *Pressure drop* menjadi *over predicted* pada ukuran tubing lebih dari 2 inch
- Oil Gravity : *Overpredicted* pada minyak berat (13-30°API) dan akurasi meningkat seiring meningkat *oil gravity*
- Gas Liquid Ratio : Sangat akurat untuk GLR sampai dengan 5000, eror lebih besar dari 20% untuk GLR lebih besar dari 5000
- Water Cut : Akurat untuk berbagai nilai water cut

### Persamaan Beggs & Brill

- Ukuran Tubing : Akurat untuk ukuran tubing antara 1 dan 1.5 inch. Semakin besar ukuran tubing menyebabkan *overpredicted* pada *pressure drop*
- Oil Gravity : Akurat untuk berbagai nilai *oil gravity*
- Gas Liquid Ratio : Over predicted terjadi setiap kenaikan GLR. Errorr menjadi sangat besar pada GLR diatas 5000
- Water Cut : Akurat untuk water cut sampai dengan 10%

Tabel 5 menunjukan spesifikasi tubing menurut API 5 CT.

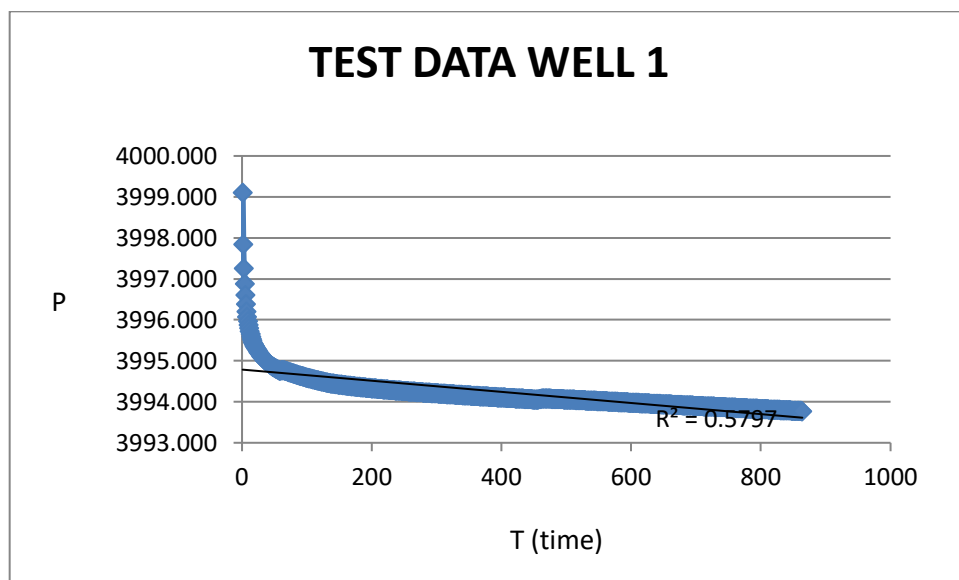
| Tubing Size |        | Nominal Weight                                                                                                     |                                                                                                                | Grade                                                                                                                          | Wall Thickness in.                                                                                                         | Inside Dia. in.                                                                                                            | Threaded Coupling                                                                                                          |                       |                | Collapse Resistance psi | Internal Yield Pressure psi                                                                                                                       | Joint Yield Strength                                                                                                                                |                                                                                                                                                                          | Capacity Table                                                                     |                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                              |
|-------------|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|----------------|-------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|             |        | T & C Non-Upset lb/ft                                                                                              | T & C Upset lb/ft                                                                                              |                                                                                                                                |                                                                                                                            |                                                                                                                            | Drift Dia. in.                                                                                                             | Coupling Outside Dia. |                |                         |                                                                                                                                                   | T & C Non-Upset lb                                                                                                                                  | T & C Upset lb                                                                                                                                                           | Barrels per Linear ft                                                              | Linear ft per Barrel                                                                                                                               |                                                                                                                                                              |
| Nom. in.    | OD in. | Non-Upset lb/ft                                                                                                    | Upset lb/ft                                                                                                    |                                                                                                                                |                                                                                                                            |                                                                                                                            |                                                                                                                            | Non-Upset in.         | Upset Reg. in. |                         |                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                          |                                                                                    |                                                                                                                                                    | Upset Spec. in.                                                                                                                                              |
| 3/4         | 1.05   | 1.14                                                                                                               | 1.20                                                                                                           | H-40<br>J-55<br>C-75<br>N-80                                                                                                   | 0.113                                                                                                                      | 0.824                                                                                                                      | 0.730                                                                                                                      | 1.313                 | 1.660          |                         | 7,200<br>9,370<br>12,250<br>12,710                                                                                                                | 7,530<br>10,360<br>14,120<br>15,070                                                                                                                 | 6,380<br>8,740<br>11,920<br>12,710                                                                                                                                       | 13,300<br>18,290<br>24,940<br>26,610                                               | 0.0007                                                                                                                                             | 1516.13                                                                                                                                                      |
| 1           | 1.315  | 1.700                                                                                                              | 1.800                                                                                                          | H-40<br>J-55<br>C-75<br>N-80                                                                                                   | 0.113                                                                                                                      | 1.049                                                                                                                      | 0.955                                                                                                                      | 1.660                 | 1.900          |                         | 6,820<br>8,860<br>11,560<br>12,270                                                                                                                | 7,080<br>9,730<br>13,270<br>14,160                                                                                                                  | 10,960<br>15,060<br>20,540<br>21,910                                                                                                                                     | 19,760<br>27,160<br>37,040<br>39,510                                               | 0.0011                                                                                                                                             | 935.49                                                                                                                                                       |
| 1 1/4       | 1.660  | 2.300                                                                                                              | 2.400                                                                                                          | H-40<br>H-40<br>J-55<br>J-55<br>C-75<br>C-75<br>N-80                                                                           | 0.125<br>0.140<br>0.125<br>0.140<br>0.140<br>0.140<br>0.140                                                                | 1.410<br>1.380<br>1.410<br>1.380<br>1.380<br>1.380<br>1.380                                                                | 1.286                                                                                                                      | 2.054                 | 2.200          |                         | 5,220<br>5,790<br>6,790<br>7,250<br>7,530<br>9,840<br>10,420                                                                                      | 5,270<br>5,900<br>7,250<br>8,120<br>11,070<br>11,810                                                                                                | 15,530<br>26,740<br>36,770<br>50,140<br>53,480                                                                                                                           | 0.0019<br>0.0018<br>0.0019<br>0.0018<br>0.0018<br>0.0018<br>0.0018                 | 517.79<br>540.55<br>517.79<br>540.55<br>540.55<br>540.55<br>540.55                                                                                 |                                                                                                                                                              |
| 1 1/2       | 1.900  | 2.750                                                                                                              | 2.900                                                                                                          | H-40<br>H-40<br>J-55<br>J-55<br>C-75<br>C-75<br>N-80                                                                           | 0.125<br>0.145<br>0.125<br>0.145<br>0.145<br>0.145<br>0.145                                                                | 1.650<br>1.610<br>1.650<br>1.610<br>1.610<br>1.610<br>1.610                                                                | 1.516                                                                                                                      | 2.200                 | 2.500          |                         | 4,450<br>5,290<br>5,790<br>6,870<br>8,990<br>9,520                                                                                                | 10,020<br>19,090<br>26,250<br>35,800<br>38,180                                                                                                      | 31,980<br>43,970<br>59,960<br>63,980                                                                                                                                     | 0.0026<br>0.0025<br>0.0026<br>0.0025<br>0.0025<br>0.0025                           | 378.11<br>397.14<br>378.11<br>397.14<br>397.14<br>397.14                                                                                           |                                                                                                                                                              |
| 2 1/16      | 2.063  |                                                                                                                    |                                                                                                                | H-40<br>J-55<br>C-75<br>N-80                                                                                                   | 0.156                                                                                                                      | 1.751                                                                                                                      |                                                                                                                            |                       |                |                         | 5,240<br>6,820<br>8,910<br>9,440                                                                                                                  | 5,290<br>7,280<br>9,920<br>10,590                                                                                                                   |                                                                                                                                                                          |                                                                                    | 0.0030                                                                                                                                             | 335.75                                                                                                                                                       |
| 2 3/8       | 2.375  | 4.00<br>4.60<br>4.00<br>4.60<br>4.00<br>4.60<br>5.80<br>4.00<br>4.60<br>5.80<br>4.60<br>5.80                       | 4.70<br>4.70<br>4.70<br>4.70<br>5.95                                                                           | H-40<br>H-40<br>J-55<br>J-55<br>C-75<br>C-75<br>C-75<br>N-80<br>N-80<br>N-80<br>P-105<br>P-105                                 | 0.167<br>0.190<br>0.167<br>0.190<br>0.167<br>0.190<br>0.254<br>0.254<br>0.167<br>0.190<br>0.254<br>0.254                   | 2.041<br>1.995<br>2.041<br>1.995<br>2.041<br>1.995<br>1.867<br>2.041<br>1.995<br>1.867<br>1.995<br>1.867                   | 1.947<br>1.901<br>1.947<br>1.901<br>1.947<br>1.901<br>1.773<br>1.947<br>1.773<br>1.901<br>1.773                            | 2.875                 | 3.063          | 2.910                   | 4,880<br>5,520<br>6,340<br>7,180<br>8,150<br>9,380<br>12,180<br>8,660<br>9,940<br>12,890<br>13,250<br>17,190                                      | 4,920<br>5,600<br>6,770<br>7,700<br>9,230<br>10,500<br>14,040<br>9,840<br>11,200<br>14,970<br>14,700<br>19,650                                      | 30,130<br>35,960<br>41,430<br>49,450<br>56,500<br>67,430<br>96,560<br>60,260<br>71,930<br>102,990<br>94,410<br>135,180                                                   | 52,170<br>71,730<br>97,820<br>126,940<br>144,960<br>198,710<br>260,810             | 0.0040<br>0.0039<br>0.0040<br>0.0039<br>0.0040<br>0.0039<br>0.0034<br>0.0040<br>0.0039<br>0.0034<br>0.0039<br>0.0034                               | 247.12<br>258.65<br>247.12<br>258.65<br>247.12<br>258.65<br>295.33<br>247.12<br>258.65<br>295.33<br>258.65<br>295.33                                         |
| 2 7/8       | 2.875  | 6.40<br>6.40<br>6.40<br>6.80<br>6.40<br>6.80<br>6.40<br>6.80                                                       | 6.50<br>6.50<br>6.50<br>6.70<br>6.50<br>6.70<br>6.50<br>6.70                                                   | H-40<br>J-55<br>C-75<br>C-75<br>N-80<br>N-80<br>P-105<br>P-105                                                                 | 0.217<br>0.217<br>0.217<br>0.308<br>0.217<br>0.308<br>0.217<br>0.308                                                       | 2.441<br>2.441<br>2.441<br>2.259<br>2.441<br>2.259<br>2.441<br>2.259                                                       | 2.347<br>2.347<br>2.347<br>2.165<br>2.347<br>2.165<br>2.347<br>2.165                                                       | 3.500                 | 3.668          | 3.460                   | 5,230<br>6,800<br>8,900<br>12,200<br>9,420<br>12,920<br>12,660<br>17,220                                                                          | 5,280<br>7,260<br>9,910<br>14,060<br>10,570<br>15,000<br>13,870<br>19,690                                                                           | 52,780<br>72,580<br>98,970<br>149,360<br>105,570<br>159,310<br>138,560<br>209,100                                                                                        | 72,480<br>99,660<br>135,900<br>185,290<br>144,960<br>198,710<br>190,260<br>260,810 | 0.0058<br>0.0058<br>0.0058<br>0.0060<br>0.0058<br>0.0060<br>0.0058<br>0.0060                                                                       | 172.76<br>172.76<br>172.76<br>201.72<br>172.76<br>201.72<br>172.76<br>201.72                                                                                 |
| 3 1/2       | 3.500  | 7.70<br>9.20<br>10.20<br>7.70<br>9.20<br>10.20<br>7.70<br>9.20<br>10.20<br>12.70<br>7.70<br>9.20<br>10.20<br>12.70 | 9.30<br>9.30<br>9.30<br>9.30<br>9.30<br>9.30<br>9.30<br>9.30<br>9.30<br>12.95<br>9.30<br>9.30<br>9.30<br>12.95 | H-40<br>H-40<br>H-40<br>J-55<br>J-55<br>J-55<br>J-55<br>C-75<br>C-75<br>C-75<br>N-80<br>N-80<br>N-80<br>N-80<br>P-105<br>P-105 | 0.216<br>0.254<br>0.289<br>0.216<br>0.254<br>0.289<br>0.216<br>0.254<br>0.289<br>0.375<br>0.216<br>0.254<br>0.289<br>0.375 | 3.068<br>2.992<br>2.922<br>3.068<br>2.992<br>2.922<br>3.068<br>2.992<br>2.922<br>2.750<br>3.068<br>2.992<br>2.922<br>2.750 | 2.943<br>2.867<br>2.797<br>2.943<br>2.867<br>2.797<br>2.943<br>2.867<br>2.797<br>2.625<br>2.943<br>2.867<br>2.797<br>2.625 | 4.250                 | 4.500          | 4.180                   | 4,070<br>5,050<br>5,680<br>5,290<br>6,560<br>7,390<br>6,690<br>8,530<br>9,660<br>12,200<br>7,080<br>9,080<br>10,230<br>12,920<br>12,110<br>17,200 | 4,320<br>5,080<br>5,780<br>5,940<br>6,980<br>7,950<br>8,100<br>9,520<br>10,840<br>14,060<br>8,640<br>10,160<br>11,560<br>15,000<br>13,330<br>19,690 | 65,070<br>79,540<br>92,550<br>89,470<br>109,370<br>127,250<br>122,010<br>149,140<br>173,530<br>230,990<br>130,140<br>159,090<br>185,100<br>246,390<br>208,800<br>323,390 | 103,610<br>142,460<br>194,260<br>276,120                                           | 0.0091<br>0.0087<br>0.0083<br>0.0091<br>0.0087<br>0.0083<br>0.0091<br>0.0087<br>0.0083<br>0.0073<br>0.0091<br>0.0087<br>0.0083<br>0.0073<br>0.0073 | 109.37<br>114.99<br>120.57<br>109.37<br>114.99<br>120.57<br>109.37<br>114.99<br>120.57<br>136.12<br>109.37<br>114.99<br>120.57<br>136.12<br>114.99<br>136.12 |
| 4           | 4.000  | 9.500                                                                                                              | 11.000                                                                                                         | H-40<br>H-40<br>J-55<br>J-55<br>C-75<br>C-75<br>N-80<br>N-80                                                                   | 0.226<br>0.262<br>0.226<br>0.262<br>0.226<br>0.262<br>0.226<br>0.262                                                       | 3.548<br>3.476<br>3.548<br>3.476<br>3.548<br>3.476<br>3.548<br>3.476                                                       | 3.423<br>3.351<br>3.423<br>3.351<br>3.423<br>3.351<br>3.423<br>3.351                                                       | 4.750                 | 5.000          |                         | 3,580<br>4,420<br>4,650<br>5,750<br>5,800<br>7,330<br>6,120<br>7,780                                                                              | 3,960<br>4,580<br>5,440<br>6,300<br>7,420<br>8,600<br>7,910<br>9,170                                                                                | 99,010<br>135,010<br>230,750                                                                                                                                             | 246,140                                                                            | 0.0122<br>0.0117<br>0.0122<br>0.0117<br>0.0122<br>0.0117<br>0.0122<br>0.0117                                                                       | 81.78<br>85.20<br>81.78<br>85.20<br>81.78<br>85.20<br>81.78<br>85.20                                                                                         |
| 4 1/2       | 4.500  | 12.600                                                                                                             | 12.750                                                                                                         | H-40<br>J-55<br>C-75<br>N-80                                                                                                   | 0.271                                                                                                                      | 3.958                                                                                                                      | 3.833                                                                                                                      | 5.200                 | 5.563          |                         | 3,930<br>5,100<br>6,430<br>6,810                                                                                                                  | 4,220<br>5,800<br>7,900<br>8,430                                                                                                                    | 104,360<br>143,500<br>195,680<br>208,730                                                                                                                                 | 144,020<br>198,030<br>270,240<br>288,040                                           | 0.0152                                                                                                                                             | 65.71                                                                                                                                                        |

### Pemilihan Metode Vertical Lift Performance

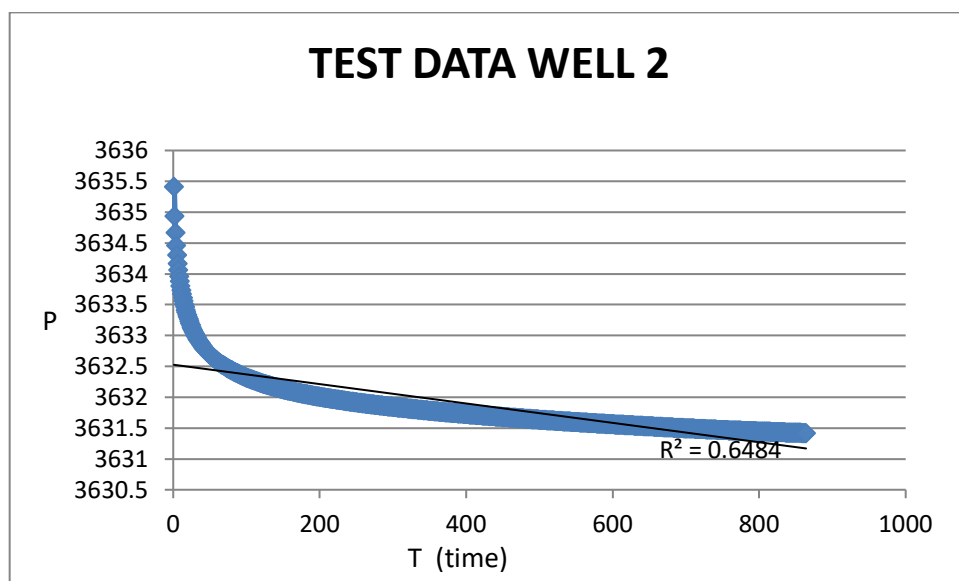
Setelah menentukan batasan-batasan dari setiap metode, hal selanjutnya adalah memilih metode mana yang paling sesuai dan mendekati pada kasus ini. Dalam hal ini yang menjadi konsentrasi penulis adalah metode Hagedorn-Brown, Beggs & Brill dan Orkiszewski. Bila menggunakan Hagedorn-Brown sesuai dengan range *oil gravity* pada kasus ini serta GLR juga masih dalam range yang bisa diterima dengan metode Hagedorn-Brown, namun metode ini tidak mempertimbangkan flow regime yang terjadi di tubing, sehingga untuk aliran multifasa penulis anggap tidak cukup mendekati. Perubahan flow regime dalam media pipa cukup memberikan pengaruh dalam pengakatan fluida ke permukaan. Perubahan *flow regime* dalam pipa akibat tingginya rasio gas dapat menyebabkan liquid drop dan terakumulasi dalam tubing sehingga dapat mengakibatkan sumur mati. Bila menggunakan metode Orkiszewski, parameter seperti oil gravity dan GLR masih dalam range yang sesuai dengan kasus kali ini. Pada metode Orkiszewski juga mempertimbangkan fenomena dimana gas mengalir lebih cepat dibanding dengan *liquid*. Namun metode ini tidak memperhitungkan pengaruh pola aliran, sehingga penulis memutuskan untuk tidak memakai metode ini. Bila menggunakan metode Beggs & Brill, oil gravity dan GLR masih dalam range yang sesuai. Disamping itu, Beggs & Brill mempertimbangkan *flow regime* yang terjadi di tubing dan metode Beggs & Brill dapat digunakan untuk tubing dengan berbagai nilai inklinasi, sehingga penulis memutuskan untuk menggunakan metode Beggs & Brill.

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

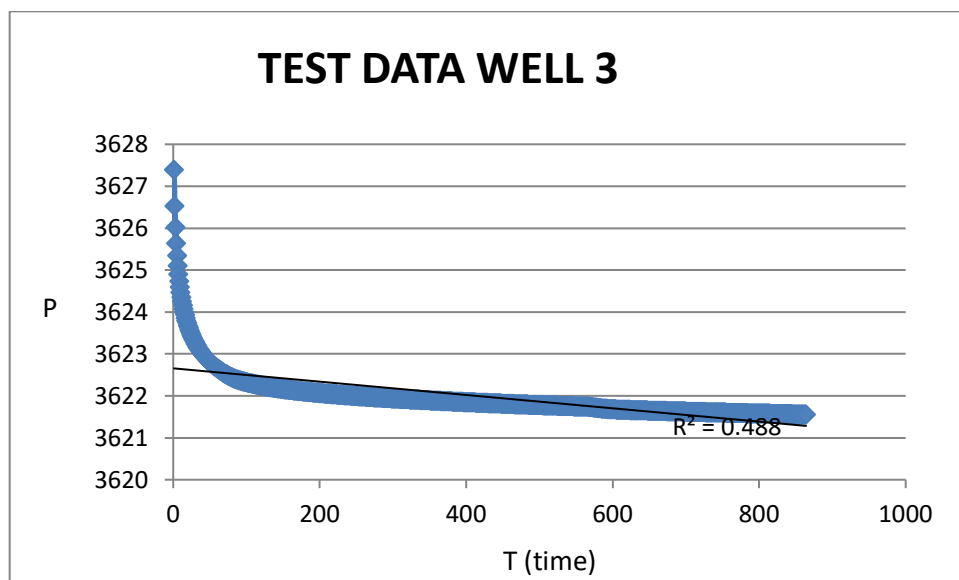
Seperti telah dijelaskan sebelumnya, pada initial condition ( $t=0$ ) penulis akan menggunakan metode Vogel untuk menghitung IPR dan menggunakan metode Beggs & Brill untuk menghitung TPR. Sebelum menghitung IPR & TPR serta melakukan proses *matching* antara keduanya, harus dilakukan analisa dari data welltest untuk menentukan laju alir dan tekanan test. Data welltest yang diberikan kemudian diplot dalam grafik Tekanan VS Time pada laju alir yang sama, kemudian dilakukan analisa mana yang menghasilkan  $R^2$  mendekati 1 minimal 0.99, sehingga didapatkan laju alir dan tekanan test yang nanti akan dimasukkan kedalam pipesim untuk menghitung IPR. Pertama plot tekanan vs waktu pada rate yang sama untuk setiap sumurnya, sehingga menghasilkan grafik seperti gambar 3-5.



Gambar 3. Hasil Plot Tekanan test VS Time Sumur 1

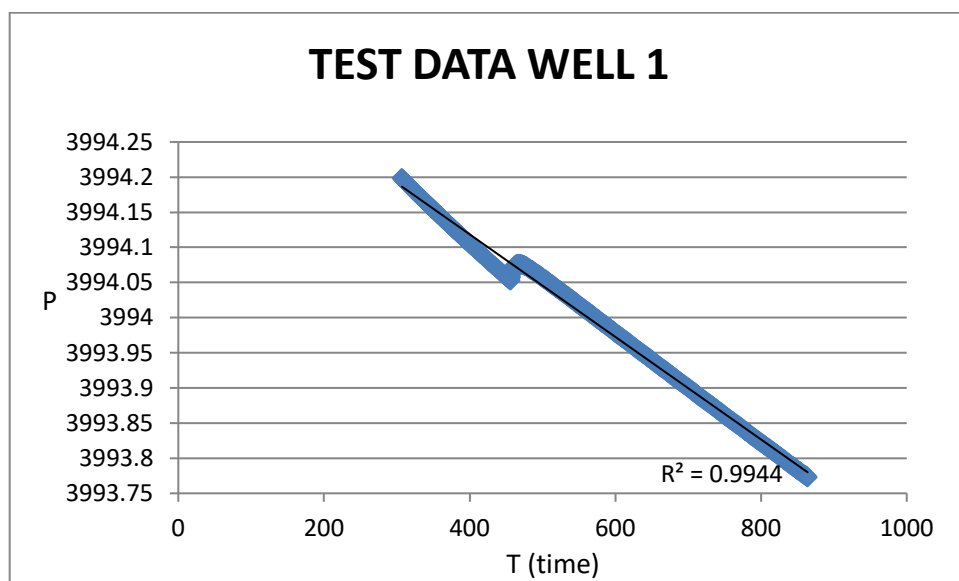


Gambar 4. Hasil Plot Tekanan test VS Time Sumur 2

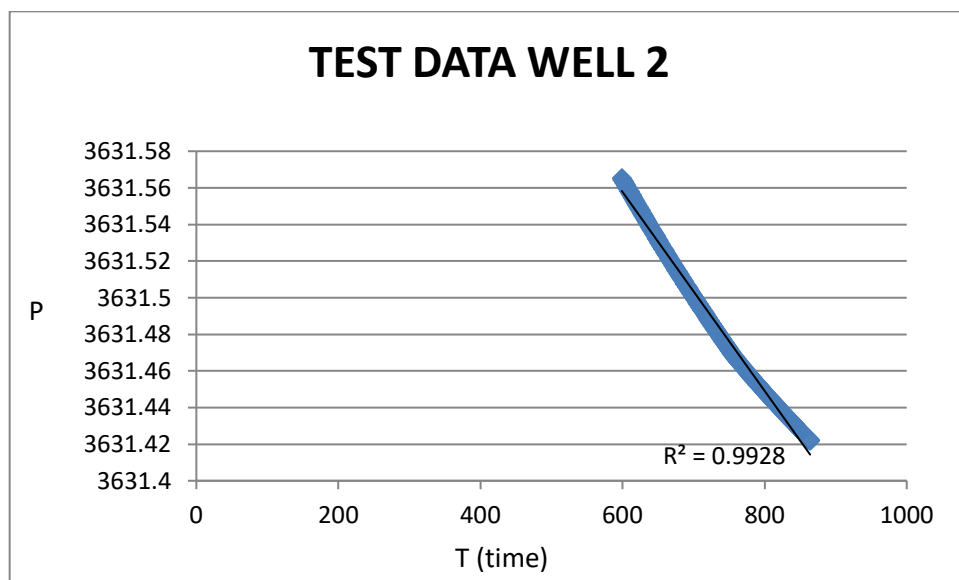


Gambar 5. Hasil Plot Tekanan test VS Time sumur 3

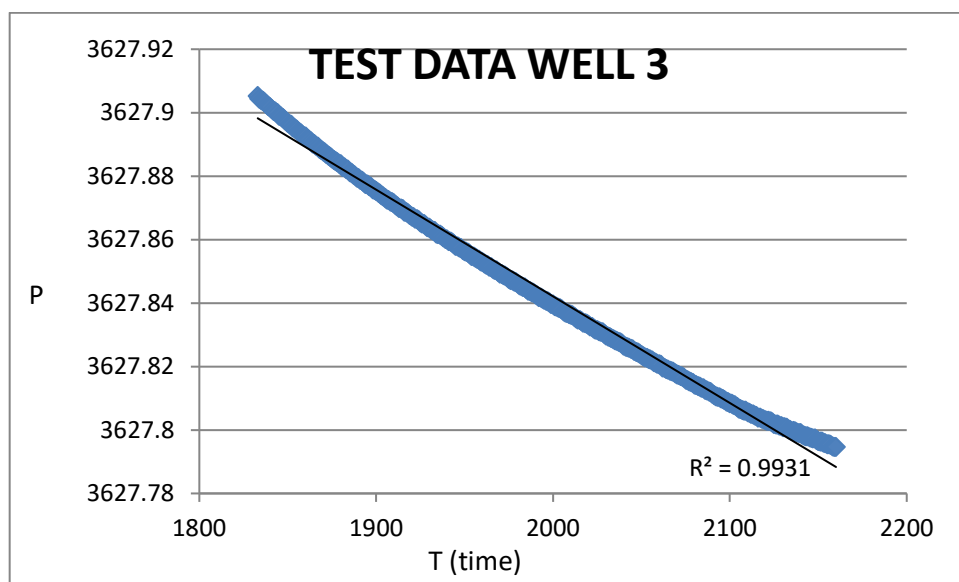
Setelah itu, dilakukan penyesuaian data dimana data plot tersebut dikurangi sedikit demi sedikit sampai mencapai  $R^2$  minimal 0.99. Hasil penyesuaian data tersebut ditampilkan pada gambar 6-8.



Gambar 6. Hasil Plot Penyesuaian Data Tekanan test VS Time sumur 1



Gambar 7. Hasil Plot Penyesuaian Data Tekanan test VS Time sumur 2



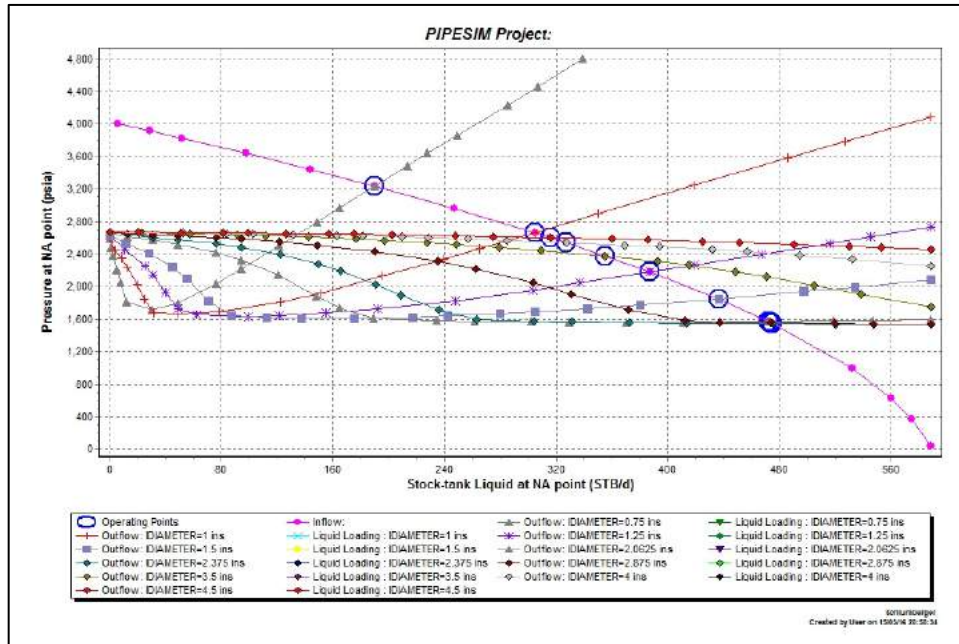
Gambar 8. Hasil Plot Penyesuaian Data Tekanan test VS Time sumur 3

Sehingga dapat ditentukan laju alir dan tekanan test untuk masing masing sumur adalah sebagai berikut :

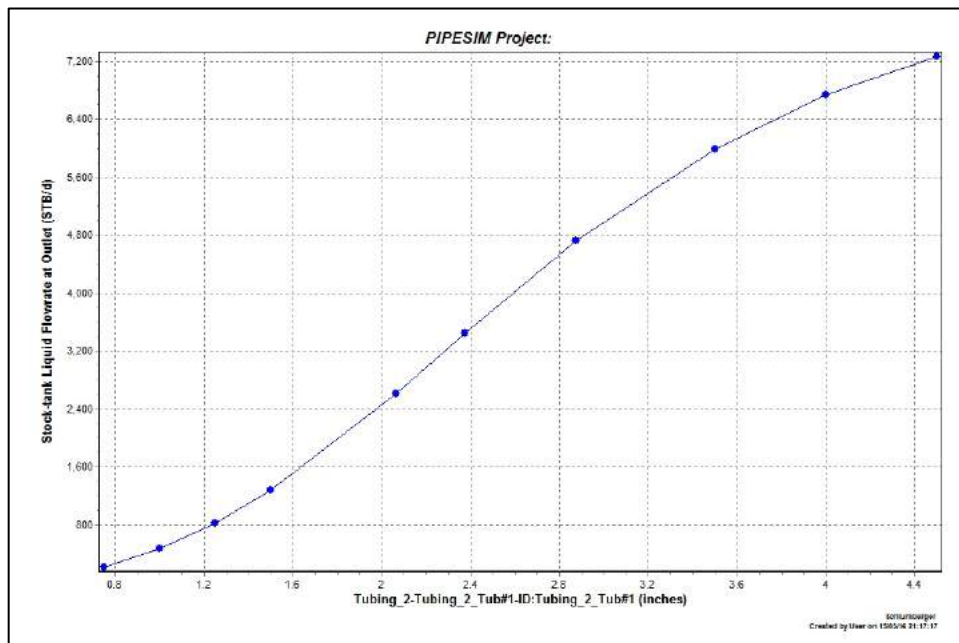
Tabel 6. Hasil Test sumur

|               | <b>Q Test</b> | <b>Pwf Test</b> |
|---------------|---------------|-----------------|
| <b>WELL 1</b> | 149.9972      | 3994.199        |
| <b>WELL 2</b> | 100.0012      | 3631.565186     |
| <b>WELL 3</b> | 124.9994      | 3627.905        |

Setelah data data yang dibutuhkan diinput kedalam pipesim, selanjutnya dilakukan analisa nodal dengan matching grafik ipr dan tpr pada berbagai ukuran tubing, dan menghasilkan grafik seperti dibawah ini untuk masing masing well



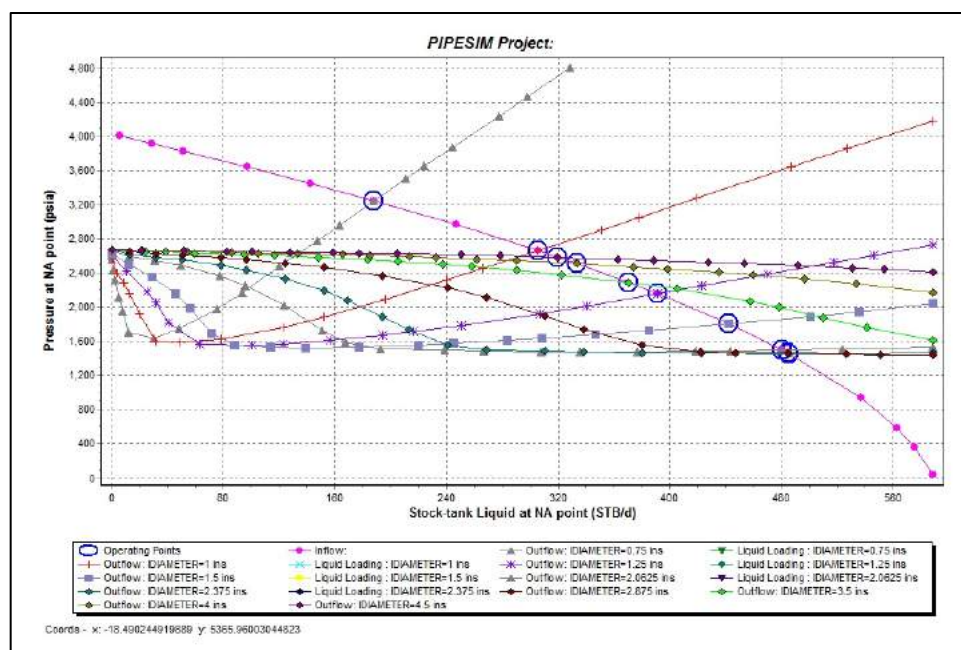
Gambar 9. Kurva Sistem Nodal Well 1



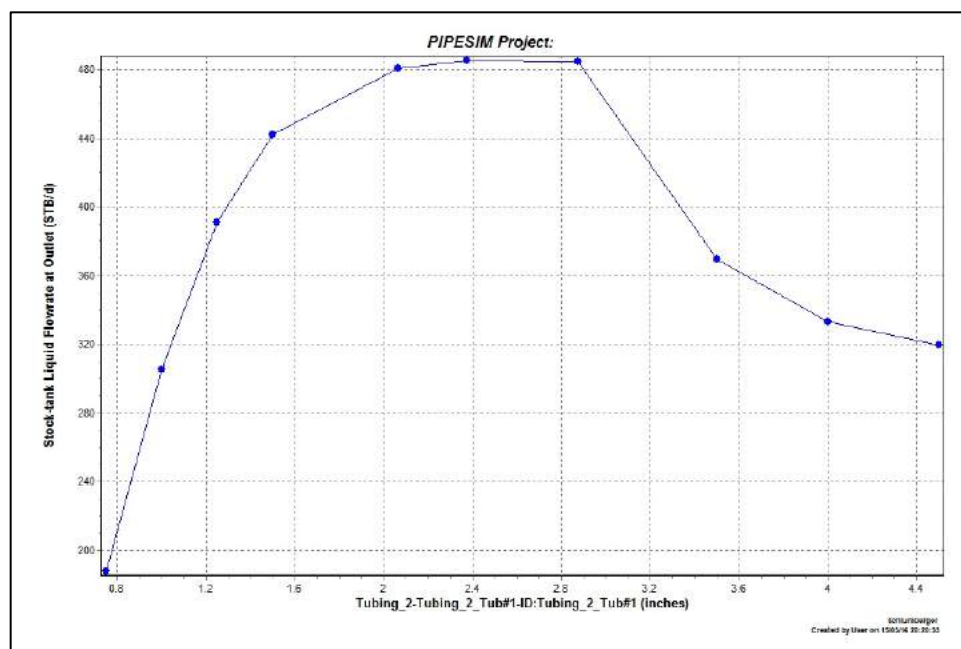
Gambar 10. Kurva Sistem Plot dengan Sensitivitas Ukuran Tubing PadaWell 1

Tabel 7. Laju Alir Optimum Well 1 Pada Berbagai Ukuran Tubing

| FLOW RATE OF WELL 1 IN VARIOUS TUBING SIZE |           | OUTLET PRESSURE (PSIA) | AOF (STB/DAY) |
|--------------------------------------------|-----------|------------------------|---------------|
| QL (STB)                                   | ID TUBING |                        |               |
| 219.7808                                   | 0.75      | 200                    | 9858.1902     |
| 468.6507                                   | 1         |                        |               |
| 826.2011                                   | 1.25      |                        |               |
| 1,288.01                                   | 1.5       |                        |               |
| 2,615.99                                   | 2.0625    |                        |               |
| 3,444.06                                   | 2.375     |                        |               |
| 4,717.57                                   | 2.875     |                        |               |
| 5,993.09                                   | 3.5       |                        |               |
| 6,739.20                                   | 4         |                        |               |
| 7,263.55                                   | 4.5       |                        |               |



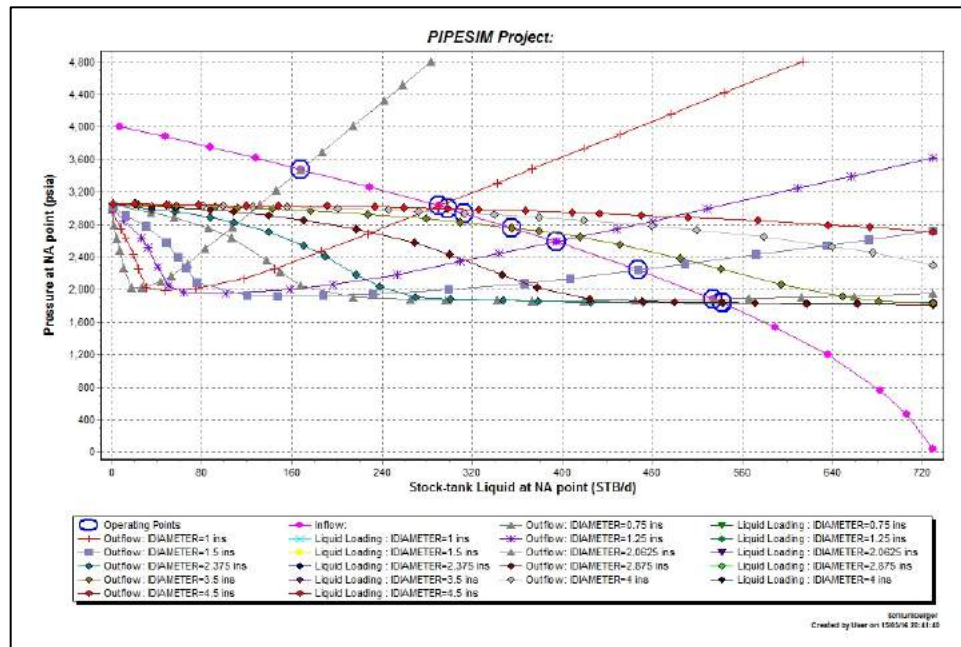
Gambar 11. Kurva Sistem Nodal Well 1



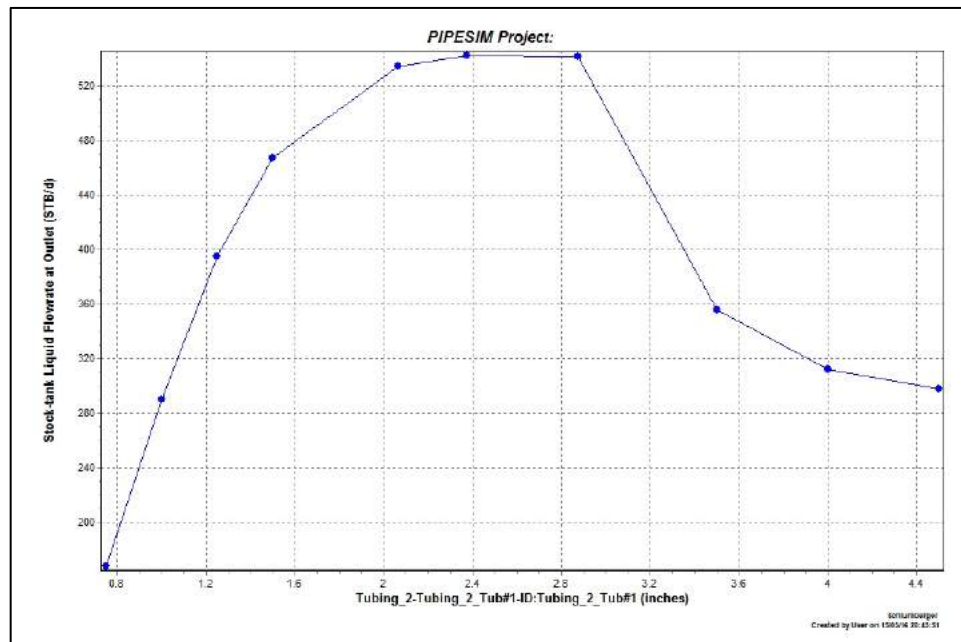
Gambar 12. Kurva Sistem Plot dengan Sensitivitas Ukuran Tubing Pada Well 2

Tabel 8. Laju Alir Optimum Well 2 Pada Berbagai Ukuran Tubing

| FLOW RATE OF WELL 2 IN VARIOUS TUBING SIZE |           | OUTLET PRESSURE (PSIA) | AOF (STB/DAY) |
|--------------------------------------------|-----------|------------------------|---------------|
| QL (STB)                                   | ID TUBING |                        |               |
| 189.6201                                   | 0.75      | 200                    | 589.81717     |
| 304.8205                                   | 1         |                        |               |
| 386.9874                                   | 1.25      |                        |               |
| 436.89                                     | 1.5       |                        |               |
| 471.91                                     | 2.0625    |                        |               |
| 475.20                                     | 2.375     |                        |               |
| 473.79                                     | 2.875     |                        |               |
| 355.39                                     | 3.5       |                        |               |
| 327.12                                     | 4         |                        |               |
| 316.10                                     | 4.5       |                        |               |



Gambar 13. Kurva Sistem Nodal Well 3



Gambar 14. Kurva Sistem Plot dengan Sensitivitas Ukuran Tubing Pada Well 3

Tabel 9 Laju Alir Optimum Well 3 Pada Berbagai Ukuran Tubing

| FLOW RATE OF WELL 3 IN VARIOUS<br>TUBING SIZE |           | OUTLET PRESSURE<br>(PSIA) | AOF<br>(STB/DAY) |
|-----------------------------------------------|-----------|---------------------------|------------------|
| QL (STB)                                      | ID TUBING | 200                       | 730.82943        |
| 168.0296                                      | 0.75      |                           |                  |
| 290.4413                                      | 1         |                           |                  |
| 395.0908                                      | 1.25      |                           |                  |
| 467.40                                        | 1.5       |                           |                  |
| 534.44                                        | 2.0625    |                           |                  |
| 542.34                                        | 2.375     |                           |                  |
| 541.43                                        | 2.875     |                           |                  |
| 355.70                                        | 3.5       |                           |                  |
| 312.59                                        | 4         |                           |                  |
| 298.00                                        | 4.5       |                           |                  |

Dari Pipesim, kita mendapatkan beberapa hasil grafik yang dapat dianalisa menggunakan system nodal. Seperti yang kita lihat pada gambar 9,11, dan 13 hasil *matching* grafik IPR yang merepresentasikan aliran dari reservoir ke *bottom hole* dan dipotongkan dengan grafik TPR yang merepresentasikan aliran di media pipa. Hasil perpotongan antara keduanya adalah operating condition. Pada kasus kali ini penulis melakukan uji sensitivitas terhadap berbagai ukuran tubing berdasarkan API 5CT yang berbeda sehingga dihasilkan laju alir untuk masing masing ukuran tubing. Hal selanjutnya yang perlu dilakukan adalah menentukan ukuran tubing mana yang memberikan laju alir paling efektif. Jika TPR dan IPR masih berpotongan, hal itu berarti dengan ukuran tubing tersebut fluida masih bisa mengalir, namun bila TPR dan IPR sudah tidak berpotongan lagi hal ini berarti dengan ukuran tubing tersebut tidak lagi ada aliran yang tercapai. Bila aliran tidak lagi tercapai pada suatu waktu dengan tekanan reservoir tertentu dan ukuran tubing tertentu, maka perlu dilakukan metode pengangkatan buatan atau yang biasa disebut dengan metode artificial lift.

Selanjutnya dengan menggunakan system analysis, dimana merupakan grafik plot antara ukuran tubing dengan laju alir yang dihasilkan seperti yang ditunjukkan pada gambar 10,12, dan 14, kita dapat mengetahui ukuran tubing mana yang menghasilkan rate paling besar atau paling effisien pada suatu waktu tertentu pada tekanan *wellhead* yang konstan (*node* ada di *wellhead*). Hal ini dapat berubah seiring dengan berubahnya kondisi reservoir sehingga untuk dimasa yang akan datang harus

dilakukan future performance baik untuk IPR future dan TPR *future* serta system analysis dimasa yang akan datang. Hasil dari ketiga grafik tadi lalu di buat dalam bentuk tabel untuk lebih memudahkan membacanya dan didapatkan hasil bahwa pembesaran ukuran tubing tidak selalu menghasilkan rate yang lebih besar dibanding dengan ukuran tubing yang lebih kecil. Hal ini karena semakin besar ukuran tubing maka gas slippage yang dihasilkan juga semakin besar yang berarti pada satu ukuran tubing tertentu dan lebih besar, rate liquid lebih kecil dibanding ukuran tubing yang lebih kecil. Hal ini bisa dilihat dengan hasil ukuran tubing yang paling efektif untuk well 1 adalah sebesar 4.5 Inch dengan rate 7263.55 STB/Day. Well 2 dan well 3 adalah sebesar 2.375 Inch dengan rate 475.20 STB/day untuk well 2 dan 542.34 STB/day untuk well 3.

## KESIMPULAN

Untuk hasil ukuran tubing yang paling efektif untuk well 1 adalah sebesar 4.5 Inch dengan rate 7263.55 STB/Day. Well 2 dan well 3 adalah sebesar 2.375 Inch dengan rate 475.20 STB/day untuk well 2 dan 542.34 STB/day untuk well 3.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih saya ucapkan kepada semua pihak yang telah membantu penulisan jurnal ini dan saya ucapkan terima kasih kepada lembaga LPPM yang sudah merevisi dan menerbitkan di Pertogas.

## DAFTAR PUSTAKA

- Allen, T., and Roberts, A. (1978). Production Operation. Tulsa Oklahoma: Oil & Gas Consultants International Inc. Guo, B., Lyons, W., and Ghalambor, A. (2007). Petroleum Production Engineering. Lafayette: Elsevier Science & Technology Books.
- Ahmed, T. (2006). Reservoir Engineering Handbook Third Edition. United State of America: Elsevier's Science & Technology.
- Brown, K., and Beggs, D. (1984). The Technology Of Artificial Lift Methods Vol 1. Tulsa , USA: Pennwell Publishing Company.
- Joseph, Z. (1949). Practical Petroleum Engineers Handbook Third Edition. New York: Gulf Publishing Company.
- Wiggins, M. (1994). Generalized Inflow Performance Relationships for Three Phase Flow. Paper SPE 25458 pada The 1993 SPE Production Operations Symposium, Oklahoma City.