

Desain Pipeline sebagai Media Transmisi Air pada Sistem Penyediaan Air Minum dari Sidoarjo hingga Gresik

Nur Wahyu Hilal Muharrom^{1*}, Projek Priyonggo Sumangun L.², Benedicta Dian Alfanda³

Program Studi D-IV Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia^{1,2,3}

Email : wahyuhilal29@gmail.com^{1*}; projek_me@yahoo.co.id²; benedictadian@ppns.ac.id³

Abstract - Because population is increasing, water supply efforts will be made through the Drinking Water Supply System project. Therefore, the author will determine the media of water transmission with a debit 3020 l/s. Activities undertaken include designing pipelines and conducting hydraulic analysis. Results of the pipeline design given 3 segments aboveground, and after being calculated manually obtained the value of the maximum allowable pipe span is 3.5 meters for the pipe segment of KPA 66+050 with a longitudinal stress 20482.26 psi. Whereas in the pipe bridge segment of Gunungsari river and Kedurus river, the values of the maximum allowable pipe span is 3.3 meters with a longitudinal stress 15880.55 psi. Both of these longitudinal stress values still meet ASME B31.4 criteria, which is 28000 psi. From length of pipelines is 43523.5 meters, the resulting pump head is 122.9 meters, so that centrifugal pump type of Grundfos LS 400-350-397B-1F2BABBVP1 be selected. Based on hydraulics analysis using WaterCAD, obtained several variables such as flow supplied and flow demand values provided according to the provisions, then fluid velocity and pressure not exceed the limit. So based on this simulations, can be published that the pipeline planning of Drinking Water Supply System can work well.

Keyword : Drinking Water Supply System, Pipeline Design, Pump Head, Stress Analysis, WaterCAD.

Nomenclature

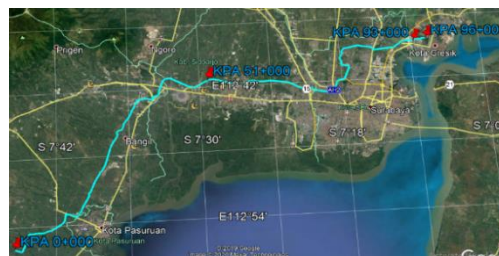
| | |
|----------|---|
| P | Design pressure (psi) |
| Z | Section modulus |
| Δ | Allowable deflection (inch) |
| Sh | Hot Stress (lb/in ²) |
| ρ | Density (kg/m ³) |
| q | Dynamic pressure (lbs/ft ²) |
| Q | Debit aliran (l/s) |
| t | Ketebalan dinding pipa (mm) |
| e | Harga kekasaran pipa (mm) |
| ID | Inside diameter (mm) |
| V | Kecepatan (m/s) |
| μ | Viskositas dinamik (kg/m.s) |

1 PENDAHULUAN

Dalam proyek kerjasama pemerintah dengan badan swasta, upaya penyediaan air akan dilakukan melalui proyek Sistem Penyediaan Air Minum dengan pemanfaatan sebuah mata air. Proyek ini bertujuan untuk memenuhi peningkatan kebutuhan debit air pada lima daerah di Provinsi Jawa Timur yaitu Kabupaten Pasuruan, Kota Pasuruan, Kabupaten Sidoarjo, Kota Surabaya dan Kabupaten Gresik.

Dalam Sistem Penyediaan Air Minum, pipa transmisi (*pipeline*) merupakan komponen utama

sehingga dalam kegiatan pembangunannya harus melalui perencanaan dan perancangan yang tepat serta memperhatikan segala aspek yang telah di



jelaskan dalam *code & standard*. Rencana jalur *pipeline* dapat dilihat pada Gambar 1.

Gambar 1 Rencana Jalur Pipeline
(Sumber: Klien Proyek)

Dengan meningkatnya kebutuhan debit air di lima daerah di Provinsi Jawa Timur, sehingga penulis ingin merencanakan sebuah sistem perpipaan pada proyek ini tepatnya mulai KPA 50+800 hingga KPA 94+650 dengan total debit 3020 l/s yang akan dijabarkan pada tabel 1. Desain dan perencanaan media transmisi tersebut mengacu pada *code & standard* ASME B31.4 dan SNI 7509.

Tabel 1 Kebutuhan Debit Area Perencanaan

| PERMINTAAN PENAMBAHAN DEBIT | | | |
|-----------------------------|----------------|-------|--------|
| NO. | Tapping | Debit | satuan |
| 1 | Candi | 200 | l/s |
| 2 | Sidoarjo | 200 | l/s |
| 3 | Buduran | 200 | l/s |
| 4 | Gedangan | 180 | l/s |
| 5 | Waru | 240 | l/s |
| 6 | Alasmalang | 1000 | l/s |
| 7 | Giri (tahap 3) | 1000 | l/s |

(Sumber: Klien Proyek)

2 METODOLOGI

2.1 Prosedur Penelitian

Pada penelitian ini diawali dengan mendesain sistem perpipaan mulai jalur *pipeline* hingga 6 titik tapping rumah meter dan berakhir di reservoir Gresik. Kemudian menentukan jarak antar *support* khusus untuk segmen pipa *aboveground* serta mencari nilai tegangan longitudinal yang terjadi. Setelah nilai jarak antar *support* dan tegangan dapat dinyatakan memenuhi kriteria maka selanjutnya ialah mencari nilai *head* pompa untuk mendapatkan spesifikasi pompa yang akan digunakan.

Tahap selanjutnya penulis akan melakukan analisa hidrolika menggunakan *software* WaterCAD untuk mengevaluasi kualitas dan kemampuan hasil desain perencanaan.

2.2 Perhitungan Jarak Antar Support

Formula dan persamaan yang digunakan untuk menghitung jarak antar *support* bergantung pada asumsi kondisi tumpuan ujung pipa yang diambil [5]. Untuk suatu kasus pipa lurus dianggap *beam* dengan beban *uniform* dengan asumsi tumpuan sederhana (*simply supported*) pada kedua ujung pipa, maka persamaan menghitung jarak ini adalah sebagai berikut.

$$L_{max} = \sqrt{\frac{0,4 \times Z \times Sh}{w}} \quad \text{limitation of stress} \quad (1)$$

$$L_{max} = \sqrt[4]{\frac{\Delta \times E \times I}{13,5 \times w}} \quad \text{limitation of Deflection} \quad (2)$$

2.3 Perhitungan Longitudinal Stress

Dalam sistem perpipaan terdapat beberapa faktor yang mengakibatkan tegangan pada pipa, salah satunya adalah *longitudinal stress* [2]. Tegangan ini diakibatkan oleh beban *sustained* yang diakibatkan oleh berat pipa dan fluida, kemudian beban *occasional* yang diakibatkan oleh gaya dari luar seperti halnya angin atau gelombang.

Tegangan pada pipa tidak boleh melebihi *allowable value* dalam code & standard yang digunakan yaitu ASME B31.4 [1]. Persamaan untuk mencari nilai *longitudinal stress* akibat beban *sustained* maupun *occasional* adalah sebagai berikut.

$$S_b = \frac{WL^2}{8Z} \quad \text{Bending Stress} \quad (3)$$

$$S_{ax} = \frac{PA_i}{A_s} \quad \text{Axial Stress} \quad (4)$$

$$S_{lp} = \frac{PD_o}{4t} \quad \text{Internal Pressure Stress} \quad (5)$$

$$S_L = S_b + S_{ax} + S_{lp} \quad \text{Longitudinal Stress} \quad (6)$$

2.4 Perhitungan Head Pompa

Perhitungan *head* pompa digunakan untuk mencari nilai *head* yang dihasilkan sistem perpipaan sehingga kemudian dapat menjadi pertimbangan dalam memilih spek pompa. Perhitungan dimulai dari mencari nilai *headloss major & headloss minor*, kemudian menentukan *head* statis, *head* tekanan, dan terakhir *head* kecepatan yang mengalir dalam pipa [4]. Penjumlahan dari keempat variabel tersebut akan menjadi nilai *head* yang harus di tanggung pompa, sehingga persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$HL \text{ Major} = \frac{f \times L \times V^2}{2 \times g \times ID} \quad (7)$$

$$HL \text{ Minor} = \frac{K \times V^2}{2 \times g} \quad (8)$$

$$HL \text{ Total} = HL \text{ major} + HL \text{ minor} \quad (9)$$

$$H_a = Z_2 - Z_1 \quad \text{Head statis} \quad (10)$$

$$H_p = \frac{P_2 - P_1}{\rho g} \quad \text{Head tekanan} \quad (11)$$

$$H_K = \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} \quad \text{Head Kecepatan} \quad (12)$$

$$H_{pump} = H_L + H_a + H_p + H_K \quad (13)$$

2.5 Analisa Hidrolika dengan WaterCAD

Pada tahap ini dilakukan analisa jaringan sesuai dengan desain *pipeline* atau jaringan yang direncanakan. Diawali dengan membuat peta area kemudian rute pipa dengan tanda *junction* yang sesuai jalur KPA *pipeline*. Debit aliran, *demand* dan Elevasi pipa harus diinput sedetail mungkin sehingga *software* WaterCAD dapat melakukan simulasi jaringan dengan baik dan menghasilkan data yang akurat. Hasil analisa hidrolika dengan *software* ini akan mengevaluasi kualitas, kemampuan dan kinerja hasil desain dan perencanaan.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Data Teknis Pipa

Data spesifikasi pipa yang digunakan untuk melakukan perhitungan dan analisa jaringan *pipeline*, baik untuk segmen pipa *aboveground*,

penentuan *head* pompa maupun analisa hidrolika, dapat dilihat pada Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 3.1 Data Spesifikasi Pipa

| No. | Parameter | Nilai | Satuan |
|-----|--------------------------------|-------------------------------------|--|
| 1 | Pipe Material | ASTM A-252 Gr.2 JIS G 3101 SS400 | |
| 2 | Outside Diameter | 1800 1700 1400 1000 | mm |
| 3 | Inside Diameter | 1778 1678 1378 978 | mm |
| 5 | Material Density | 14369,3 (0,519) | Kg/m ³ (lb/in ³) |
| 6 | Wall thickness | 11 (0,433) | mm (inch) |
| 7 | Min. Ultimate Tensile Strength | 60000 | psi |
| 8 | SMYS | 35000 | psi |
| 9 | Design Pressure | 8,74 (126,7) | Bar (psi) |
| 10 | Design Temperature | 50 (122) | °C (F) |
| 11 | Operating Pressure | 5 (72,5) | Bar (psi) |
| 12 | Operating Temperature | 25 (77) | °C (F) |
| 13 | Modulus elastisitas | 29500000 | psi |

3.2 Data Spesifikasi Fluida

Data lain yang digunakan dalam penelitian ini yaitu data spesifikasi fluida yang mengalir dalam *pipeline*. Tabel 2 merupakan data spesifikasi *fluid*.

Tabel 3.2. Data Spesifikasi fluid

| Parameter | Notasi | Satuan | Besaran |
|-------------------------|--------|-------------------|--------------------------|
| Debit fluida | Q | l/s | 3020 |
| Fluid density | ρ | Kg/m ³ | 1000 |
| Fluid viscosity dynamic | μ | Kg/m.s | 1,002 x 10 ⁻³ |

3.3 Penentuan jarak antar support

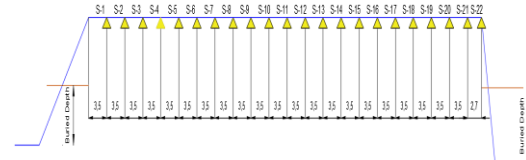
Perhitungan *maximum allowable pipe span* atau jarak antar support dilakukan dengan persamaan (1) dan (2). Sehingga nilai jarak antar *support* yang diizinkan dapat dilihat pada tabel 3.3 untuk segmen pipa *aboveground* KPA 66+050, tabel 3.4 untuk segmen *pipe bridge* sungai Gunungsari dan tabel 3.5 untuk segmen *pipe bridge* sungai Kedurus.

Tabel 3.3 Segmen pipa *aboveground* KPA 66+050

| Persamaan | Hasil Perhitungan |
|---|-------------------|
| $L_{max} = \sqrt{\frac{0,4 \times Z \times Sh}{w}}$ | 6,55 meter |

| Persamaan | Hasil Perhitungan |
|--|-------------------|
| $L_{max} = \sqrt[4]{\frac{\Delta \times E \times I}{13,5 \times w}}$ | 3,54 meter |

Berdasarkan tabel 3.3 diatas, maka jarak antar *support* yang diizinkan diambil nilai terkecil sehingga menjadi 3,5 meter dengan ilustrasi pada Gambar 3.1 dibawah ini.

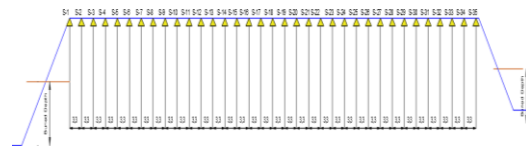


Gambar 3.1 *Support* segmen pipa *aboveground* (Desain ilustrasi dengan AutoCAD)

Tabel 3.4 Segmen *pipe bridge* sungai Gunungsari

| Persamaan | Hasil Perhitungan |
|--|-------------------|
| $L_{max} = \sqrt{\frac{0,4 \times Z \times Sh}{w}}$ | 6,54 meter |
| $L_{max} = \sqrt[4]{\frac{\Delta \times E \times I}{13,5 \times w}}$ | 3,39 meter |

Berdasarkan tabel 3.4 diatas, maka jarak antar *support* yang diizinkan diambil nilai terkecil sehingga menjadi 3,3 meter dengan ilustrasi pada Gambar 3.2 dibawah ini.

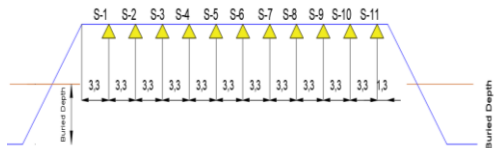


Gambar 3.2 *Support* segmen *pipe bridge* sungai Gunungsari (Desain ilustrasi dengan AutoCAD)

Tabel 3.5 Segmen *pipe bridge* sungai Kedurus

| Persamaan | Hasil Perhitungan |
|--|-------------------|
| $L_{max} = \sqrt{\frac{0,4 \times Z \times Sh}{w}}$ | 6,54 meter |
| $L_{max} = \sqrt[4]{\frac{\Delta \times E \times I}{13,5 \times w}}$ | 3,39 meter |

Berdasarkan tabel 3.5 diatas, maka jarak antar *support* yang diizinkan diambil nilai terkecil sehingga menjadi 3,3 meter dengan ilustrasi pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Support segmen pipe bridge sungai Kedurus (Desain ilustrasi dengan AutoCAD)

3.4 Longitudinal Stress Pipa Aboveground

Dalam perhitungan *longitudinal stress* untuk segmen pipa *aboveground*, digunakan persamaan (6) untuk tegangan longitudinal akibat beban *sustained* maupun akibat beban *occasional*. Setelah ditambahkan keduanya maka diperoleh total tegangan longitudinal yakni sebagai berikut.

- a. Segmen pipa *aboveground* KPA 66+050

$$S_L \text{ total} = S_L \text{ sustained} + S_L \text{ occasional}$$

$$S_L \text{ total} = 10384,1 \frac{\text{lb}}{\text{in}^2} + 10098,16 \frac{\text{lb}}{\text{in}^2}$$

$$S_L \text{ total} = 20482,26 \text{ lb/in}^2$$

- b. Segmen pipe bridge sungai Gunungsari

$$S_L \text{ total} = S_L \text{ sustained} + S_L \text{ occasional}$$

$$S_L \text{ total} = 8063,86 \frac{\text{lb}}{\text{in}^2} + 7816,69 \frac{\text{lb}}{\text{in}^2}$$

$$S_L \text{ total} = 15880,55 \text{ lb/in}^2$$

- c. Segmen pipe bridge sungai Kedurus

$$S_L \text{ total} = S_L \text{ sustained} + S_L \text{ occasional}$$

$$S_L \text{ total} = 8063,86 \frac{\text{lb}}{\text{in}^2} + 7816,69 \frac{\text{lb}}{\text{in}^2}$$

$$S_L \text{ total} = 15880,55 \text{ lb/in}^2$$

Dari hasil perhitungan ketiga segmen pipa *aboveground* diatas, nilai *longitudinal stress* yang terjadi masih dibawah batas aman sesuai pada ASME B31.4 yaitu 28000 psi.

3.5 Perhitungan Head Pompa

Berdasarkan desain yang telah dibuat maka selanjutnya mencari nilai *headloss* pada setiap kelompok diameter pipa dengan hasil yang dapat dilihat pada tabel 3.6. Dalam aliran fluida terdapat kerugian akibat gesekan fluida dengan dinding pipa maupun akibat adanya *fitting*, dan koefisien K yang digunakan mereferensi pada sebuah buku [3]. Perhitungan menggunakan persamaan (10) sampai persamaan (13) sehingga diperoleh nilai *head* pompa sebagai berikut.

Tabel 3.6 Headloss pada setiap jalur pipeline

| Jalur pipeline (KPA) | Total headloss |
|----------------------|----------------|
| 50+944 – 54+778 | 2,21 meter |
| 54+778 – 66+800 | 7,96 meter |
| 66+800 – 84+525 | 16,85 meter |
| 84+525 – 94+650 | 48,8 meter |
| Total | 75,73 meter |

$$\begin{aligned}
 - \quad Ha &= Z \\
 Z &= Z_2 - Z_1 \\
 Z &= 22,905 \text{ m} - 16,762 \text{ m} = 6,143 \text{ meter} \\
 Z &= 6,143 \text{ meter} \\
 - \quad Hp &= \frac{P_2 - P_1}{\rho g} \\
 Hp &= \frac{500000 \text{ Pa} - 101325 \text{ Pa}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9,8 \text{ m/s}^2} = 40,7 \text{ meter} \\
 - \quad HK &= \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} \\
 HK &= \frac{2,6^2 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 0^2 \text{ m/s}}{2 \times 9,8} = 0,34 \text{ meter} \\
 - \quad H &= Ha + Hp + Hl + HK \\
 H &= 6,143 \text{ m} + 40,7 \text{ m} + 75,73 \text{ m} + 0,34 \text{ m} \\
 H &= 122,9 \text{ meter}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan penentuan jumlah pompa dalam SNI 7509 tahun 2011, Dengan debit 3020 liter/detik atau sama dengan 260.928 m³/hari, maka pompa yang digunakan berjumlah 10 buah secara paralel dengan pola operasi 8 menyala dan 2 cadangan. Sehingga debit yang harus dialirkan setiap pompa adalah 1359 m³/jam dengan *head* setiap pompa 15,36 meter.

Dari proses pencarian tipe pompa dengan data *flow rate* dan *head*, maka didapatkan merk pompa Grundfos jenis *Centrifugal pump* dengan nomor kode LS 400-350-397B-1F2BABBVP1 yang dapat dilihat pada Gambar 3.4 dibawah ini.

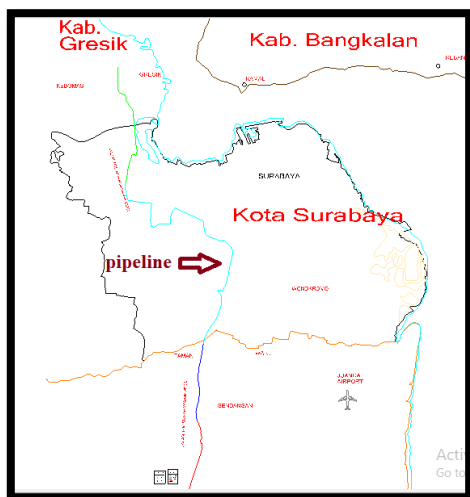


Gambar 3.4 Tampilan pompa Grundfos (Tangkapan layar aplikasi Grundfos)

Berdasarkan tampilan pada gambar 3.4 diatas, spesifikasi pompa antara lain memiliki *rate flow* hingga 1386 m³/jam dengan kapasitas *head* 17,22 meter. Pompa ini mampu bekerja pada temperatur -15 °C hingga 40 °C serta tekanan operasi maksimum sebesar 16 bar.

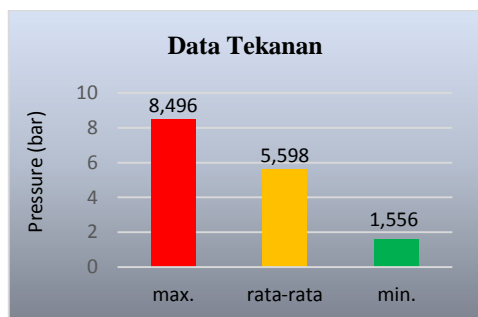
3.6 Analisa Hidrolika Software WaterCAD

Berdasarkan hasil analisa hidrolika jaringan *pipeline* dengan *software* WaterCAD, diperoleh nilai tekanan, kecepatan, *headloss*, data debit yang mengalir serta *demand* setiap rumah meter. Hasil simulasi *pipeline* dengan WaterCAD dapat dilihat pada Gambar 3.5.



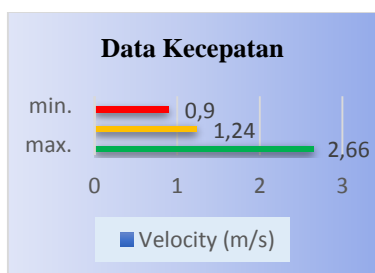
Gambar 3.5 Simulasi pipeline pada WaterCAD (WaterCAD V8i, 2020)

Dari simulasi pipeline menggunakan software waterCAD, hasil running menunjukkan bahwa flow demand dan flow supplied sudah sesuai ketentuan, tidak adanya back water, kecepatan dan tekanan fluida tidak melebihi batas yang ditentukan yang dapat dilihat pada gambar 3.6 dan gambar 3.7. Selain itu perbedaan nilai headloss dengan perhitungan manual juga kecil, dan best efficiency point dari pompa senilai 90%.



Gambar 3.6 Grafik nilai tekanan (Sumber: Data software WaterCAD)

Grafik yang tertera pada gambar 3.6 diatas menunjukkan hasil analisa hidrolika dengan software WaterCAD, sehingga diperoleh data bahwa pada jaringan pipeline yang didesain tidak terdapat aliran dengan tekanan yang melebihi batas maksimum yaitu 8,7 bar.



Gambar 3.7 Grafik nilai kecepatan (Sumber: Data software WaterCAD)

Grafik yang tertera pada gambar 3.7 diatas menunjukkan hasil analisa hidrolika dengan software WaterCAD, sehingga diperoleh data bahwa pada jaringan pipeline yang didesain tidak terdapat aliran dengan kecepatan yang melebihi batas maksimum yaitu 3 m/s.

4 KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan dan analisa pada pipeline Sistem Penyediaan Air Minum ini, didapatkan kesimpulan sebagai berikut.

1. Jarak maksimum antar support yang diizinkan adalah 3,5 meter untuk segmen pipa aboveground dan 3,3 meter untuk segmen pipe bridge sungai Gunungsari dan pipe bridge sungai Kedurus.
2. Nilai tegangan longitudinal pada ketiga segmen pipa aboveground akibat beban sustained dan occasional, tidak melebihi batas allowable value yang ditentukan oleh ASME B31.4 yaitu 28000 psi
3. Tipe pompa yang digunakan yaitu jenis centrifugal pump dari merk Grundfos, dengan nomor kode LS 400-350-397B-1F2BABBVP1.
4. Setelah dilakukan analisa hidrolika dengan software WaterCAD, hasil menunjukkan bahwa nilai flow demand dan flow supplied sudah sesuai ketentuan, kecepatan dan tekanan fluida tidak melebihi batas yang maksimum, serta best efficiency point dari pompa sebesar 90%.

5 UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis menyadari penyusunan penelitian ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu penulis menyampaikan rasa terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Ir. Eko Julianto, M.Sc, M.RINA selaku Direktur Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
2. Bapak George Endri K, S.T., M.Sc.Eng. sebagai Ketua Jurusan Teknik Permesinan Kapal. Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
3. Bapak Raden Dimas Endro Witjonarko, S.T., M.T. sebagai Ketua Program Studi Teknik Perpipaan. Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
4. Bapak Proyek Priyonggo Sumangun L., S.T., M.T. selaku dosen pembimbing pertama yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan selama penyelesaian jurnal penelitian ini.
5. Ibu Benedicta, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing kedua yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan selama penyelesaian jurnal penelitian ini.

6 PUSTAKA

- [1] ASME B31.4. (2016). *Pipeline Transportation Systems for Liquid Hydrocarbons and Other Liquids*.
- [2] Habibah, F. (n.d.). *Desain Penambahan Jalur Perpipaan Tie-in Point Akibat Penambahan Deliquidizer*.
- [3] Mays, L. W. (2010). *Water resources engineering*. John Wiley & Sons.
- [4] Sularso, H. T., & Tahara, H. (2000). Pompa dan kompresor: pemilihan, pemakaian dan pemeliharaan. *PT Pradnya Paramitha. Jakarta, Hal, 31*.
- [5] Utomo, P. B. (2016). *PERANCANGAN PIPELINE DARI DPPU KE TERMINAL 3 BANDARA SOEKARNO-HATTA, JAKARTA. POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA*.