

Perancangan *Buried Pipeline Fuel Hydrant System* dari DPPU ke Terminal Kargo Bandara *International* di Jakarta

Ihsanudin^{1*}, Heroe Poernomo², Pekik Mahardhika³

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

Program Studi D-IV Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia²

Email: ihsanuddin63@rocketmail.com^{1*}; heroe_p@poltera.ac.id^{2*}; pekikmahardhika@ppns.ac.id^{3*}

Abstract - *Fuel Hydrant System* is a distribution system of aircraft fuel by draining the fuel from storage area (DPPU) to each aircraft gate parking by using a buried pipe. The pipe specification use API 5L 20 inch and 6 inch. The purpose of this final project is get a safety system design of pipe according to code which exist for Fuel Hydrant System cargo terminal airport and analyze stress with software caesar II and Pipeline Toolbox on the critical line, crossing highway and crossing railway. Specification of the pipe in buried piping systems should be designed to hold wide range of live load, dead load and the operating pressure of the pipeline. According to the National Fire Protection Association (NFPA) 407 about Aircraft Fuel Servicing, point 4.4.10.3 Fueling hydrant, cabinets, and pits should be placed at least 15.2 m from the terminal building, hangars, service building, or enclosed passenger concourse (other than loading bridges). Based on the standard ASME B31.4 and Api 1102, pipe material API 5L grade B Sch 60 and 40 can handled stress from sustain, occasional, expansion, and live load.

Keyword : stress analysis, buried pipe, ASME B31.4, API 1102, crossing highway, crossing railway

Nomenclature

S_H	Circumferensial Stress (psi)
S_E	Expansion Stress (psi)
S_L	Longitudinal Stress (psi)
S_{HE}	Earth Load (psi)
S_{HH}	Cyclic Circumferensial Stress (psi)
S_{LH}	Cyclic Longitudinal Stress (psi)
AS	Surface Area (cm ³)
S_{eff}	Effectif Stress (psi)
P_i	Internal Design gauge pressure (psi)
OD	Outside Diameter pipa (inch)
F	Design factor based on nominal wall thickness
E	Weld joint factor
S_y	Specified minimum yield strength of the pipe (psi)
S	Applicable allowable stress value (psi)
t	Minimum required thickness (mm)
T_m	Thickness minimum (mm)
S₁	Principal Stress (S ₁)
S₂	Principal Stress (S ₂)
S₃	Principal Stress (S ₃)

1. PENDAHULUAN

Didalam Master plan Bandara Soekarno-Hatta pembangunan bandara direncanakan sampai terminal 4. Untuk memudahkan dalam pengisian bahan bakar pesawat akan menggunakan *Fuel Hydrant System*. Pipa *Fuel Hydrant System* akan diletakkan dibawah tanah (*buried pipe*) melewati jalan raya dan rail kereta

api, Salah satu tujuannya agar tidak mengganggu jalannya aktivitas bandara dan memastikan bahwa sistem aman [1]. Selain itu sistem perpipaan terkubur (*buried pipe*) juga bisa mengurangi bahaya kebocoran pipa yang dapat membahayakan masyarakat dan mengganggu keamanan bandara. Sistem perpipaan terkubur (*buried pipe*) merupakan sistem perpipaan yang dikubur dengan kedalaman tertentu sesuai dengan lokasi pipa dan beban yang nantinya akan melewati pipa tersebut. Faktor keamanan merupakan hal yang sangat penting dalam perencanaan sistem perpipaan terkubur (*buried pipe*). Salah satunya adalah ketepatan menentukan kedalaman penguburan pipa, dan kesesuaian memilih spesifikasi pipa sesuai dengan ragam beban yang kelak akan diterima oleh pipa tersebut. Dalam perancangan Pipa *Fuel Hydrant System* harus mempertimbangkan peletakan *hydrant pit* yang kelak akan menghubungkan mobil hydrant dispenser ke *inlet* tangki pesawat. Ketepatan peletakan *Hydrant pit* juga harus diperhatikan karena dapat mempengaruhi jalannya operasional. [2]

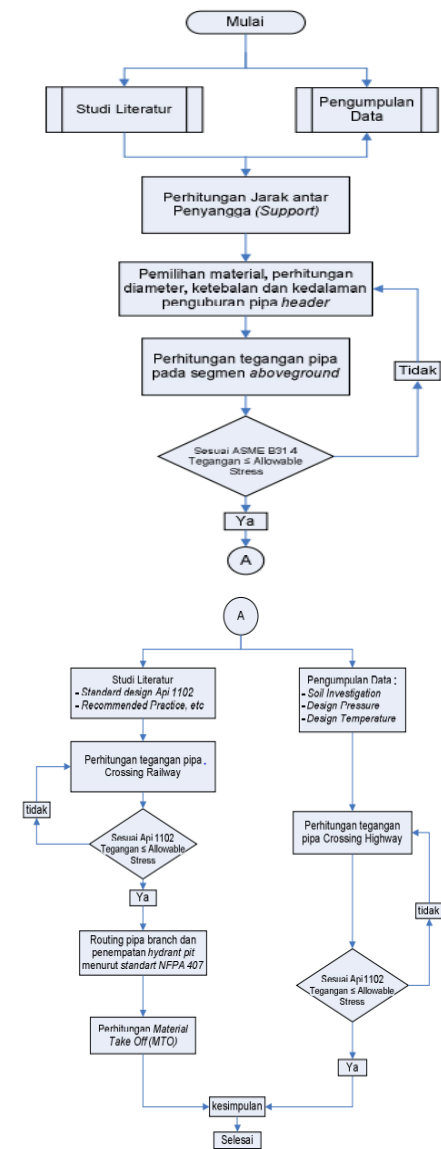
Pesawat dan estetika bandara. Dari segi ekonomi, sistem perpipaan terkubur (*buried pipe*) harus dirancang sesuai standard biaya yang terjangkau, sehingga dapat menghemat biaya perancangan dan konstruksi. Oleh karena itu desain harus dibuat sesimpel mungkin, namun tetap mempertimbangkan standard teknis dengan tujuan mempermudah dalam proses konstruksi.

Ketepatan memilih spesifikasi pipa juga harus disesuaikan dengan ketersediaan pasar, harga barang, serta waktu pengiriman barang.

2. METODOLOGI

2.1 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan melaksanakan beberapa pengujian terkait ketahanan material. Berikut Gambar 2.1 merupakan diagram alir penelitian:



Gambar 1. Diagram alir penelitian

2.2 Formula Matematika

Formula yang digunakan dalam perhitungan – perhitungan pada penelitian ini meliputi :

a. Tegangan akibat pembebanan sustain

$$S_L = \frac{F_{ax}}{A_m} + \frac{M_b.c}{I} + \frac{P.do}{4t} \leq S_h \quad (1)$$

Persamaan (1) menunjukkan persamaan tegangan akibat pembebanan sustain. Dimana Fax merupakan gaya aksial karena beban tetap (lb), Am merupakan *cross section area of pipe* (in²), Mb merupakan momen bending (lb.in), c merupakan jarak dari *neutral axis* (in), I merupakan momen inersia penampang (in⁴), P merupakan *design pressure* (psig), do merupakan *outside diameter* (in), t merupakan ketebalan pipa (in), SL merupakan tegangan longitudinal (psi), dan SH merupakan tegangan dasar yang diizinkan oleh material menurut *Appendiks A ASME B31.4* (psi)

b. Tegangan akibat pembebanan ekspansi termal

$$S_E = \sqrt{4S_t^2 + S_b^2} \quad (2)$$

$$S_A = f(1.25S_c + 0.25S_h) \quad (3)$$

Persamaan (2) menunjukkan persamaan tegangan akibat pembebanan ekspansi termal dan persamaan (3) menunjukkan tegangan izin pembebanan ekspansi termal. Dimana St merupakan tegangan momen puntir (lb/in²), Sb merupakan tegangan bending (lb/in²), SA merupakan *allowable stress* untuk ekspansi termal (psi), Z merupakan *section modulus of pipe* (in³), f merupakan *stress range reduction factor*, Sc merupakan *basic allowable stress at minimum metal temperatur* (psi), Sh merupakan *basic allowable stress at maximum metal temperatur* (psi).

c. Tegangan pada Crossing highway

a. Tegangan akibat earth load

Tegangan *circumferential* akibat *earth load* (SHe) dalam lb/in² atau kpa, dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut :

$$S_{He} = K_{He} B_e E_e \gamma D \quad (4)$$

b. Tegangan akibat live load

Untuk perancangan, tegangan yang diakibatkan oleh beban kendaraan atau *live load* hanya beban satu roda yang perlu dipertimbangkan, dan juga beban roda yang digunakan harus beban maksimum, Pembebanan tersebut pada roda poros tunggal (Ps), atau dengan roda poros ganda (Pt). Dalam desain, direkomendasikan maksimum beban poros roda tunggal Pt adalah 12 kips, sedangkan beban poros roda ganda Ps

adalah 10 kips. Untuk pengambilan beban menggunakan P_t atau P_s tergantung dengan diameter pipa (D), Kedalaman penguburan (H), dan jenis *pavement*.

c. *Cyclic circumferential stress*

Cyclic circumferential stress disebabkan oleh beban kendaraan dipermukaan jalan raya, ΔS_{Hh} (lb/in² atau kpa) *cyclic circumferential stress* dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut.

$$S_{Hh} = K_{Hh} G_{Hh} R L F_i W \quad (5)$$

Untuk mengetahui faktor R (faktor tipe *pavement*) dan faktor L (faktor *axle configuration*), tergantung pada kedalaman pipa, diameter pipa dan *design axle configuration* (*single* atau *tandem*).

d. *Cyclic longitudinal stress*

Cyclic longitudinal stress yang diakibatkan karena beban roda kendaraan, ΔS_{Lh} dapat dikalkulasikan menggunakan persamaan berikut.

$$S_{Lh} = K_{Lh} G_{Lh} R L F_i W \quad (6)$$

e. Nilai tegangan efektif merupakan tegangan yang dipengaruhi oleh 3 tegangan prinsipal.

$$S_{eff} = \sqrt{\frac{1}{2}[(S_1 - S_2)^2 + (S_2 - S_3)^2 + (S_3 - S_1)^2]} \quad (7)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan perhitungan inside diameter, material pipa yang digunakan adalah pipa ERW API 5L grade B dengan *design pressure* sebesar 195,8, *design temperature* 140 °F dan *wall thickness* 0,59 inch. Berikut adalah spesifikasi lengkap pipa API 5L Grade B :

Tabel 3.1 Spesifikasi Pipa

No.	Parameter	Nilai	Satuan
1.	Pipe Material	API 5L Grade B	
2.	Outside Diameter	20	inch
3.	Inside Diameter	18,8	inch
4.	Wall Thickness	0,59	inch
5.	SMYS	35000	psi
6.	Minimum Ultimate Tensile Strenght	60000	psi
7.	Design Pressure	195,8	psi
8.	Design Temperature	140	°F
9.	Operating Pressure	108,097	psi
10.	Operating Temperature	86	°F
11.	Installation Temperature	80,6	°F
12.	Joint factor	1	-
13.	Coefficient thermal expansion	$6,5 \times 10^{-6}$	in/in°F
14.	Modulus of elasticity	$29,39 \times 10^6$	psi
15.	Poisson's Ratio of Steel	0,3	-

3.1 Perhitungan Tegangan pada Segmen Aboveground

➤ Circumferential Stress (Restrained)

$$S_H = \frac{195,8 \text{ psi} \times 20 \text{ inch}}{2 \times 0,59 \text{ inch}}$$

$$S_H = 3364,407 \text{ psi}$$

Tegangan ini dipengaruhi oleh nilai tekanan *internal*, diameter dan ketebalan dari pipa yang digunakan. Pada setiap perubahan elevasi nilai dari *internal pressure*, diameter dan ketebalan pipa yaitu sama. Sehingga hasil perhitungan tegangan akibat beban *internal* dari setiap elevasi memiliki nilai yang sama.

➤ Thermal Expansion Stress

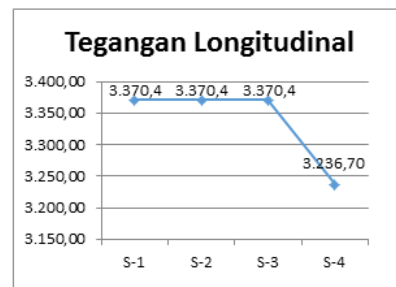
$$S_E = E \alpha (T_1 - T_2)$$

$$S_E = 29,39 \times 10^6 \text{ lb/in}^2 \times 6,5 \times 10^{-6} (80,6 - 86) ^\circ F$$

$$S_E = 1031,589 \text{ psi}$$

Tegangan ini dipengaruhi oleh nilai tekanan modulus elastisitas pipa, koefisien thermal dan temperatur fluida yang digunakan. Pada setiap elevasi nilai *Thermal Expansion Stress* sama karena pipa yang digunakan dan temperature yang digunakan tidak berubah.

➤ Logitudinal Stress

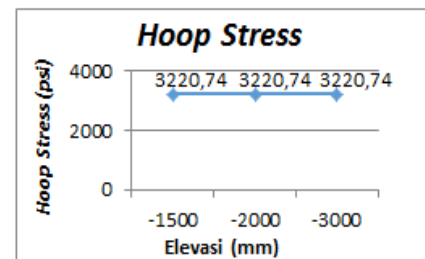


Gambar 2. Tegangan Akibat Beban Internal

Total tegangan longitudinal (restrained) akibat beban *sustained* pada segmen pipa *aboveground* tidak boleh melebihi kriteria ASME B31.4 table 403.3.1-1 [3]. Kriteria total tegangan longitudinal yang diakibatkan oleh beban *sustained* adalah 28000 psi (0.8 SMYS).

3.2 Tegangan Pada Segmen Pipeline Crossing

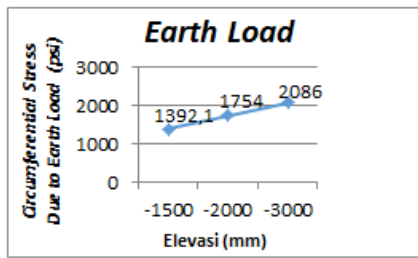
➤ Tegangan Akibat Beban Internal



Gambar 3. Tegangan Akibat Beban Internal

Tegangan ini dipengaruhi oleh nilai tekanan *internal*, diameter dan ketebalan dari pipa yang digunakan. Pada setiap perubahan elevasi nilai dari *internal pressure*, diameter dan ketebalan pipa yaitu sama. Sehingga hasil perhitungan tegangan akibat beban internal dari setiap elevasi memiliki nilai yang sama. Dari perhitungan diatas, menunjukkan bahwa tegangan yang timbul akibat tekanan internal telah memenuhi kriteria API 1102.

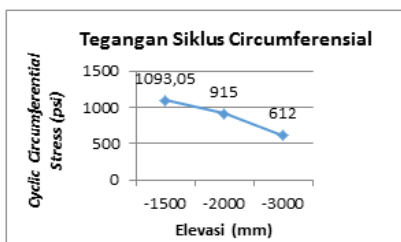
➤ **Tegangan Akibat Beban Tanah (earth load)**



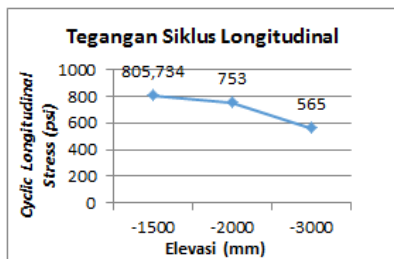
Gambar 4. Tegangan Akibat Beban Tanah

Nilai tegangan akibat *earth load* dipengaruhi oleh jenis dari tanah, kedalaman, dan faktor pengeboran. Sehingga nilai tegangan dari setiap elevasi menjadi berbeda. Tegangan terbesar terletak pada elevasi -3000mm dengan nilai sebesar 2086 psi. Berdasarkan hasil perhitungan diatas menunjukkan semakin dalam elevasi *pipeline crossing* maka nilainya semakin besar. Nilai yang semakin besar pada setiap penurunan elevasi diakibatkan pembebanan volume tanah yang bertambah seiring penurunan elevasi *pipeline*.

➤ **Tegangan Akibat Beban Kendaraan**



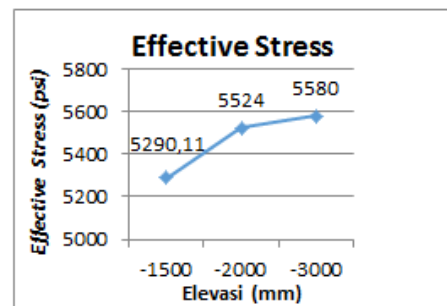
Gambar 5. Tegangan Siklus Circumferensial



Gambar 6. Tegangan Siklus Longitudinal

Nilai dari tegangan siklus *circumferential* dan *longitudinal* dipengaruhi oleh *geometry factor*, *stiffness factor* dan *impact factor*. Nilai faktor tersebut dipengaruhi oleh kedalaman penanaman *pipeline crossing*. Sehingga pada setiap elevasi *pipeline* menghasilkan nilai tegangan siklus *circumferential* dan *longitudinal* yang berbeda. Perbedaan nilai tersebut diakibatkan semakin dalam elevasi maka faktor tumbukan akibat *live load* berkurang. Sehingga nilai pada tegangan siklus *longitudinal* dan *circumferential* semakin turun pada setiap penurunan elevasi.

➤ **Perhitungan Tegangan Efektif**



Gambar 7. Grafik Tegangan Efektif

Nilai tegangan efektif merupakan tegangan yang dipengaruhi oleh 3 tegangan prinsipal. Berdasarkan gambar 7 tentang grafik tegangan efektif menunjukkan bahwa semakin dalam elevasi dari *pipeline crossing* maka semakin besar tegangan efektifnya.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan perhitungan dan analisa pada hasil dan pembahasan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

Tegangan pada segmen pipa *aboveground* :

1. Dari perhitungan didapatkan nilai minimum ketebalan pipa dengan tekanan 195,8 psi dan diameter pipa 20 inch adalah 0,078 inch, sehingga material pipa ERW API 5L grade B sch 60 yang memiliki ketebalan 0,59 inch sudah memenuhi kriteria.
2. Nilai tegangan *circumferensial* pada segmen pipa *aboveground* di setiap segmen adalah 3364,407 psi
3. Nilai tegangan telrmal pada setiap segmen pipa adalah 1031,589 psi. Tegangan ini dipengaruhi oleh nilai tekanan modulus elastisitas pipa, koefisien thermal dan temperatur fluida

yang digunakan. Pada setiap elevasi nilai *Thermal Expansion Stress* sama karena pipa yang digunakan dan temperature yang digunakan tidak berubah.

4. Nilai tegangan longitudinal adalah 3370,4. Nilai tersebut masih dibawah nilai *allowable stress* menurut standard ASME B31.4 karena tegangan yang diijinkan berdasarkan perhitungan diperoleh nilai 28000 psi.

Tegangan pada segmen pipa *crossing* :

1. Nilai *hoop stress* pada segmen pipa *crossing highway* di setiap elevasi pipa adalah 3220,74 psi.
2. Nilai tegangan akibat beban tanah (*earth Load*) pada elevasi -1500mm adalah 1392,1, sedangkan nilai tertinggi diperoleh pada kedalaman -3000mm yaitu 2086psi, sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin dalam pipa terpendam maka tegangan akibat beban tanah semakin besar.
3. Nilai tegangan siklus circumferensial akibat beban kendaraan pada kedalaman -1500mm adalah 1093,05 psi, sedangkan pada kedalaman -3000mm adalah 612 psi.
4. Nilai tegangan siklus longitudinal akibat beban kendaraan pada kedalaman -1500mm adalah 805,73 psi, sedangkan pada kedalaman -3000mm adalah 565 psi.
5. Semakin dalam penguburan pipa, nilai tegangan siklus circumferensial dan siklus longitudinal yang diakibatkan oleh beban kendaraan, maka semakin kecil tegangan yang diterima pada penampang pipa terkubur.
6. Nilai tegangan efektif pada elevasi -1500mm adalah 5290,11psi, sedangkan pada elevasi -3000 adalah 5580psi, sehingga semakin dalam penguburan pipa maka tegangan efektif akan lebih besar.

5. UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak yang telah membantu dalam pembuatan penelitian ini. Pihak yang dimaksud adalah:

1. Kedua orang tua yang telah memberikan dukungan materi, motivasi, kasih sayang, do'a, dan nasehat hidup bagi penulis.

2. Bapak Heroe Poernomo, selaku dosen pembimbing I yang selalu memberi pengarahan dan bimbingan selama pengerjaan jurnal tugas akhir.
3. Bapak Pekik Mahardhika, selaku dosen pembimbing II yang selalu memberi pengarahan dan bimbingan selama pengerjaan jurnal tugas akhir.
4. Pembimbing Magang dari PT. Wijaya Karya yang namanya tidak bisa disebutkan satu persatu.
5. Keluarga besar program studi Teknik Perpipaan, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] NFPA, *Standard for Aircraft Fuel Servicing, National Fire Protection Assotiation, U.S.A*
- [2] API (2007). *API 1102-2007, Steel Pipeline Crossing, API Code for Pressure Piping. Amaerican Petroleum Institute, U.S.A*
- [3] ASME (2014). *ASME B31.4-2014, Pipeline Transportation System, ASME Code for Pressure Piping, B31. The American Society of Mechanical Engineering, U.S.A.*

(HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN)