THERMAL EXPANSION RELIEF IN PIPING

ENGINEERING TECHNICAL STANDARDS & PROCEDURES
PT KILANG PERTAMINA INTERNASIONAL
DIREKTORAT PROYEK INFRASTRUKTUR

01	Issued For Record	12/21	ARM/NDA/YN	MA	ASR	JS	BAP
00	Issued For Record	11/18	AS/DI/ARM	SF	GNR	PH	IMS
Rev.	Description	Date	Prepared by	Checked by	Verified by	Validated by	Approved by

REVISION HISTORY

RIWAYAT REVISI

Page / Section *Hal. / Bagian*	Date *Tanggal*	Description *Deskripsi*	Revision by *Direvisi oleh*

TABLE OF CONTENTS
DAFTAR ISI

1. GENERAL

1.1 Scope

This standard defines the minimum mandatory requirements for the relief of thermal expansion of liquids in piping as a result of temperature rise caused by the heating of static liquid in a piping component when the liquid is blocked-in. This standard does not apply to thermal expansion of liquids in piping caused by fire.

1. UMUM

1.1 Lingkup

Standar ini mendefinisikan persyaratan *minimum* yang wajib untuk pembuangan dari pemuaian cairan panas dalam perpipaan sebagai akibat dari kenaikan suhu yang disebabkan oleh pemanasan cairan statis dalam komponen perpipaan saat cairan tersumbat. Standar ini tidak berlaku untuk pemuaian cairan panas dalam perpipaan yang disebabkan oleh kebakaran.

2. CONFLICTS AND DEVIATIONS

2.1 Any conflicts between this standard and other applicable Engineering Technical Standards & Procedures (ETSP), or OWNER standard, codes, and forms shall be resolved in writing by OWNER.

2.2 All direct requests to deviate from this standard (ETSP) in writing to OWNER, who shall follow internal OWNER procedure and forward such requests to OWNER for approval.

2. KONFLIK DAN DEVIASI

2.1 Apabila terdapat konflik antara standar ini dengan *Engineering Technical Standards & Procedures* (ETSP) yang berlaku lainnya, atau standar PEMILIK, *codes* dan formulir, maka harus diselesaikan secara tertulis oleh PEMILIK.

2.2 Semua permintaan penggunaan standar yang berbeda dari standar ini (ETSP), harus diajukan kepada PEMILIK secara tertulis dengan mengikuti prosedur internal PEMILIK untuk mendapatkan persetujuan.

3. DEFINITIONS

3.1 The following words shall have these special meanings when used herein:

OWNER	Owner of the Plant is defined as PT Kilang Pertamina Internasional.
CONTRACTOR/ CONSULTANT	Defined as The Organization to which PT Kilang Pertamina Internasional assign the work.

3. DEFINISI

3.1 Penggunaan kata-kata berikut harus memiliki arti khusus sebagai berikut:

PEMILIK	Pemilik Kilang didefinisikan sebagai PT Kilang Pertamina Internasional.
KONTRAKTOR/ KONSULTAN	Didefinisikan sebagai Organisasi yang ditunjuk oleh di PT Kilang Pertamina Internasional untuk

			melakukan suatu pekerjaan.
shall	Indicates that the statement is mandatory	shall	Menunjukkan bahwa pernyataan itu wajib
should	Indicates a recommendation	should	Menunjukkan rekomendasi
Ambient Temperature	Ambient temperature as defined in Process Piping ASME B31.3 (Latest Edition).	Suhu Lingkungan	Suhu lingkungan seperti yang ditentukan dalam Proses Perpipaan ASME B31.3 (Edisi Terakhir).
Bulk Modulus Elasticity	A material property characterizing the compressibility of fluid (how easy a unit of the fluid volume can be changed when changing the pressure working up unit).	Elastisitas Bulk Modulus	Karakterisasi **p**roperti *material* kompresibilitas fluida (seberapa mudah satu unit *volume* fluida dapat diubah saat mengubah unit dengan tekanan yang meningkat).
Coefficient of Thermal Expansion	A description of how the size of an object changes with a change in temperature. It specifically measures the fractional change in size per degree change in temperature at a constant pressure.	Koefisien Pemuaian Panas	Penjelasan tentang bagaimana ukuran suatu obyek berubah karena perubahan suhu. Secara khusus mengukur perubahan fraksional dalam ukuran per derajat perubahan suhu pada tekanan konstan.
Thermal Expansion	The tendency of matter to change in volume in respond to change in temperature.	Pemuaian Panas	Kecenderungan materi untuk mengubah dalam *volume* karena perubahan suhu.

4. REFERENCES

The following Codes, Standard and Specifications apply to this specification. When an edition date is not indicated for a code or standard or any update in codes and standards in this specification document, the latest edition and addendum in force at the time of purchase shall apply. Material & equipment shall be as a specification or an equal approved by OWNER.

4.1 SNI

SNI 1726 : 2012 — Design Procedure for Earthquake Resistance for Building And Non-Building Structure

4.2 Industry Codes and Standards

American Society of Mechanical Engineers

ASME B31.3 — Process Piping

ASME B31.4 — Pipeline Transportation Systems for Liquids and Slurries American Petroleum Institute American Petroleum Institute

API STD 521 — Pressure-relieving and Depressuring Systems

4. REFERENSI

Kode, standar, dan spesifikasi berikut berlaku untuk spesifikasi ini. Kode dan standar harus menggunakan edisi yang terbaru atau edisi yang berlaku pada saat pembelian. Material & peralatan harus sesuai spesifikasi atau setara dengan yang disetujui oleh PEMILIK.

4.1 SNI

SNI 1726 : 2012 — *Design Procedure for Earthquake Resistance for Building And Non-Building Structure*

4.2 *Code* dan Standar Industri

American Society of Mechanical Engineers

ASME B31.3 — *Process Piping*

ASME B31.4 — *Pipeline Transportation Systems for Liquids and Slurries American Petroleum Institute American Petroleum Institute*

API STD 521 — *Pressure-relieving and Depressuring Systems*

5. RELIEF REQUIREMENTS

5.1 A relief valve shall be provided on each section of a piping in liquid service which can be fully blocked-in and subsequently can be subject to a temperature rise such that the resulting pressure will exceed the overpressure allowable by the applicable

5. PERSYARATAN *RELIEF*

5.1 *Relief valve* harus disediakan pada setiap bagian perpipaan dalam *service* cairan yang dapat sepenuhnya diblok dan selanjutnya dapat mengalami kenaikan suhu sedemikian rupa sehingga tekanan yang dihasilkan akan melebihi tekanan

ASME B31 Code. This condition shall be evaluated in each of the situations listed below and a relief valve shall be installed unless a detailed analysis, based on the assumptions stated in paragraph 5.2, is made and recorded to demonstrate that the piping will not be over pressured or overstressed.

5.1.1. On each section of a cross-country pipeline between mainline block valves when the above ground length exceeds 10 % of the total length of the section.

5.1.2. On each section of buried or insulated pipelines which carry a refrigerated liquid.

5.1.3. On the piping in a heat exchanger in which a liquid is heated between the blockvalves.

5.1.4. On each section of liquid lines with steam tracing, jacket or other external heatsource.

5.2 Unless a more rigorous analysis is made, thermal expansion calculations shall be based on conservative assumptions including the following:

5.2.1. The pipe section shall be assumed to be blocked-in under the following conditions:

a) while at the ambient temperature or at the normal operating temperature whichever is lower;

b) while at highest expected pressure.

5.2.2. The temperature of insulated lines with steam tracing or other external heat source shall be assumed to

berlebih/ *overpressure* yang diijinkan oleh ASME B31 *Code* yang berlaku. Kondisi ini harus di evaluasi dalam setiap situasi yang tercantum di bawah ini dan *relief valve* harus dipasang kecuali analisa detail berdasarkan asumsi yang disebutkan dalam paragraf 5.2, dibuat dan dicatat untuk menunjukkan bahwa perpipaan tidak akan mengalami *over pressured* atau *overstressed*.

5.1.1. Di setiap bagian perpipaan *cross-country* antara *mainline block valve* ketika panjang di atas tanah melebihi 10% dari total panjang bagian.

5.1.2. Pada setiap bagian pipa yang tertanam atau diisolasi yang membawa cairan pendingin.

5.1.3. Pada perpipaan dalam *heat exchanger* dimana cairan dipanaskan di antara *block valve*.

5.1.4. Pada setiap bagian jalur cairan dengan *steam tracing*, *jacket* atau sumber panas eksternal lainnya.

5.2 Kecuali jika dilakukan analisis yang lebih teliti, kalkulasi pemuaian panas harus didasarkan pada asumsi konservatif termasuk berikut ini:

5.2.1. Bagian pipa harus diasumsikan tersumbat dalam kondisi berikut:

a) saat berada pada suhu lingkungan atau suhu operasi normal, mana yang lebih rendah;

b) sementara pada tekanan tertinggi yang diharapkan.

5.2.2. Suhu saluran berisolasi dengan *steam tracing* atau sumber panas eksternal lainnya harus reach the temperature of the source.

5.2.3. The temperature of a liquid in piping connected to the cold side of a heat exchanger shall be assumed to reach the temperature of the hotter mediumof the exchanger.

5.2.4. Solar radiation of 950 W/m² (300 Btu/hr.ft²) shall be assumed during 10 hourson the projected area of the exposed pipe surface.

5.2.4.1. Solar radiation of 950 W/m² (300 Btu/hr.ft²) shall be assumed during 10 hours on the projected area of the exposed pipe surface.

5.2.4.2. The heat loss of the exposed pipe surface to ambient per unit length ofthe pipe shall be determined in accordance with equations (1) and (2):

By convection:

$$Qc = C1 * D0.75 * (T1-Ta)^{1.25}$$

Watts (Btu/hr.ft) (1)

By radiation:

$$Qr = C2 * D * [(T1/100)^4 - (Ta/100)^4]$$

Watts (Btu/hr.ft) (2)

where :

C1 = 1.28 for Metric units and

C1 = 0.85 for English units

C2 = 8.97 for Metric units and

C2 = 0.27 for English units

D = pipe outside diameter in

diasumsikan mencapai suhu sumber.

5.2.3. Suhu cairan dalam perpipaan yang terhubung ke *cold side* dari *heat exchanger* harus diasumsikan mencapai suhu yang media yang terpanas dari *exchanger*.

5.2.4. Radiasi tenaga surya 950 W/m² (300 Btu/hr.ft²) harus diasumsikan selama 10 jam di area yang diproyeksikan dari permukaan pipa yang terbuka.

5.2.4.1. Radiasi tenaga surya 950 W/m² (300 Btu/hr.ft²) harus diasumsikan selama 10 jam di area yang diproyeksikan dari permukaan pipa yang terbuka.

5.2.4.2. *Heat loss* dari permukaan pipa ke sekelilingnya per satuan panjang pipa harus ditentukan sesuai dengan persamaan (1) dan (2):

Dengan konveksi:

$$Qc = C1 * D0.75 * (T1-Ta)^{1.25}$$

Watts (Btu/hr.ft) (1)

Dengan radiasi:

$$Qr = C2 * D * [(T1/100)^4 - (Ta/100)^4]$$

Watts (Btu/hr.ft) (2)

dimana:

C1 = 1.28 untuk Metrik unit dan

C1 = 0.85 untuk English units

C2 = 8.97 untuk Metrik unit dan

C2 = 0.27 untuk *English units*

D = diameter pipa bagian luar

meter or feet

T1 = pipe temperature, degrees Kelvin/ Rankine

Ta = ambient temperature, degrees Kelvin/ Rankine

5.2.4.3. The following parameters that affect the pressure rise in a pipe dueto thermal expansion shall be considered as minimum:

a. Thermal expansion of liquid.

b. Compressibility of liquid.

c. Pipe expansion due to pressure.

d. Thermal expansion of pipe.

Appendix A of this Standard provides procedures to determine the volume and pressure changes of a liquid due to thermal expansion. Alternatively, volume and pressure changes of a liquid due to thermal expansion may be calculated in accordance with API STD 521.

5.2.4.4. No credit shall be taken for any leakage of valves which are intended to provide tight shut off, whether with special metal to metal seats or with soft seats or sealant.

dalam meter atau *feet*

T1 = suhu pipa, dalam derajat *Kelvin/ Rankine*

Ta = *ambient temperature*, derajat *Kelvin/ Rankine*

5.2.4.3. Parameter berikut akan mempengaruhi kenaikan tekanan dalam pipa karena pemuaian panas harus *minimum* dianggap:

a. Cairan pemuaian panas.

b. Kompresibilitas dari cairan.

c. Pemuaian pipa karena tekanan.

d. Pemuaian panas pipa

Lampiran A dari Standar ini memberikan prosedur untuk menentukan *volume* dan perubahan tekanan cairan akibat pemuaian panas. Alternatifnya, perubahan *volume* dan tekanan dari cairan akibat pemuaian panas dapat dihitung sesuai dengan API STD 521.

5.2.4.4. Tidak ada pengaruh untuk setiap kebocoran *valve* yang menyediakan *tight shut off* menutup rapat, baik dengan logam khusus ke *metal seat* atau dengan *soft seat* serta *sealant*.

6. INSTALLATION REQUIREMENTS

6.1 The set pressure of a thermal relief valve shall not exceed overpressure allowableby the applicable ASME B31 Code for the maximum temperature during blocked-in, considering pipe hoop stress, combined stress, flange rating and any other weakest component in the system.

6. PERSYARATAN INSTALASI

6.1 Tekanan yang diatur dari *thermal relief valve* tidak boleh melebihi tekanan yang diizinkan oleh ASME B31 *Code* yang berlaku untuk suhu maksimum selama penyumbatan, dengan mempertimbangkan *pipe hoop stress*, *combined stress*, *flange rating*, dan komponen terlemah lainnya dalam sistem.

6.2 Relief valve selection shall be in accordance with PERTAMINA Engineering Standards.

6.2 Pemilihan *relief valve* harus sesuai dengan Standar Enjiniring PERTAMINA.

6.3 The location of the relief valve on sections of cross-country pipelines shall be selected to provide the largest margin above normal operating pressure considering pipeline elevations and the hydraulic profile unless the location is dictated by accessibility requirements. Relief valves which are not located within a fenced area shall be provided with a suitable cover to prevent tampering or damage in accordance with Standard Drawing of Piping Standard Assembly Details Hydrostatic Test Vents & Drains.

6.3 Lokasi *relief valve* pada bagian perpipaan *cross-country* harus dipilih untuk memberikan margin terbesar di atas tekanan operasi normal dengan mempertimbangkan ketinggian jalur pipa dan *hydraulic profile* kecuali jika letaknya ditentukan oleh persyaratan aksesibilitas. *Relief valve* yang tidak terletak di dalam area berpagar harus dilengkapi dengan penutup yang sesuai untuk mencegah gangguan atau kerusakan sesuai dengan *Standard Drawing of Piping Standard AssemblyDetails Hydrostatic Test Vents* & *Drains*.

6.4 The outlet of thermal relief valves which release flammable or toxic vapor inside plant areas shall be piped to a closed piping system. Oil and other liquids may be piped to an entry point of the gravity sewer.

6.4 *Thermal relief valve* yang melepaskan uap mudah terbakar atau beracun di dalam area pabrik harus disalurkan ke sistem perpipaan tertutup. Minyak dan cairan lainnya dapat disalurkan ke titik masuk *gravity sewer*.

APPENDIX A CALCULATION METHOD FOR THERMAL RELIEF

LAMPIRAN A METODE PERHITUNGAN UNTUK THERMAL RELIEF

A.1 The following procedures may be used as guidelines to determine the volume change and pressure rise due to thermal expansion of liquids.

A.1.1. Thermal Expansion of Liquid

The volume change of a liquid due to thermal expansion is shown in Equation A-1.

$$\frac{dV}{V} = \alpha(T1 + T2) \qquad \text{A-1}$$

where:

dV = change in volume

V = volume

α = coefficient of thermal expansion of liquid, 1/°F

α = 450 * 10-6/°F for 35° API oil

α = 250 * 10-6/°F for water at 120°F

α = (-64.268 + 17.0105T-0.20369(T^2) + 0.0016048 (T^3))*10-6, for water in 1/°C. T is in °C. Divide by 1.8 to convert it to 1/°F

T1 = final temperature of liquid, °F

T2 = initial temperature of liquid, °F

A.1.2. Compressibility of Liquid

The volume change of a liquid due to compressibility is shown in Equation

$$\frac{dV}{V} = \frac{dP}{K} \qquad \text{A-2}$$

A.1 Prosedur berikut dapat digunakan sebagai pedoman untuk menentukan perubahan *volume* dan kenaikan tekanan akibat pemuaian panas cairan.

A.1.1. Pemuaian Panas Cairan

Perubahan *volume* suatu zat cair karena pemuaian panas ditunjukkan pada Persamaan A-1.

$$\frac{dV}{V} = \alpha(T1 + T2) \qquad \text{A-1}$$

dimana:

dV = perubahan *volume*

V = *volume*

α = Koefisien pemuaian panas dari cairan, 1/°F

α = 450 * 10-6/°F untuk 35° *API oil*

α = 250 * 10-6/°F untuk air pada 120°F

α = (-64.268 + 17.0105T-0.20369(T^2) + 0.0016048 (T^3))*10-6, untuk air dalam 1/°C. T dalam °C. Dibagi dengan 1.8 to untuk konversi 1/°F

T1 = temperatur akhir dari cairan, °F

T2 = temperatur awal, °F

A.1.2. Kompresibilitas Cairan

Perubahan *volume* cairan karena kompresibilitas ditunjukkan dalam Persamaan

$$\frac{dV}{V} = \frac{dP}{K} \qquad \text{A-2}$$

where:

dP = change in pressure, kPa (psi)

K = bulk modulus elasticity of liquid, kPa (psi)

K = 0.2 * 106 psi for oil

K = 0.3 * 106 psi for water

A.1.3. Volume Changes with Pressure Increase in Unrestrained Pipe

$$\frac{dV}{V} = \frac{dP\ D\ (2.5-2v}{2\ Et} \quad \text{A-3}$$

where:

dP = change in pressure, kPa (psi)

D = pipe outside diameter, m

t = pipe wall thickness, m

v = Poisson's ratio

E = modulus of elasticity, kPa (psi)

For steel pipes, v = 0.3, so

$$\frac{dV}{V} = \frac{0.95\ dP\ D}{Et} \quad \text{A-4}$$

A.1.4. Volume Change with Pressure Increase in Restrained Pipe

$$\frac{dV}{V} = \frac{2\ Sc\ (1-v2)}{E} \quad \text{A-5}$$

where:

Sc = Hoop stress, kPa (psi)

For steel pipes, v = 0.3, so

$$\frac{dV}{V} = \frac{0.91\ dP\ D}{Et} \quad \text{A-6}$$

A.1.5. Volume Change with Temperature Increase in Unrestrained Pipe

dimana:

dP = Perubahan dalam tekanan, kPa (psi)

K = Modulus elastisitas cairan, kPa (psi)

K = 0.2 * 106 psi untuk minyak

K = 0.3 * 106 psi untuk air

A.1.3. Perubahan *Volume* dengan Peningkatan Tekanan pada Pipa *Unrestrained*

$$\frac{dV}{V} = \frac{dP\ D\ (2.5-2v}{2\ Et} \quad \text{A-3}$$

dimana:

dP = Perubahan dalam tekanan, kPa (psi)

D = Diameter luar pipa, m

t = Ketebalan dinding pipa, m

v = Rasio dari *Poisson*

E = modulus elastisitas, kPa (psi)

Untuk pipa baja, v = 0,3, jadi

$$\frac{dV}{V} = \frac{0.95\ dP\ D}{Et} \quad \text{A-4}$$

A.1.4. Perubahan *Volume* dengan Peningkatan Tekanan di Pipa *Restrained*

$$\frac{dV}{V} = \frac{2\ Sc\ (1-v2)}{E} \quad \text{A-5}$$

dimana:

Sc = *Hoop stress*, kPa (psi)

Untuk pipa baja, v = 0,3, jadi

$$\frac{dV}{V} = \frac{0.91\ dP\ D}{Et} \quad \text{A-6}$$

A.1.5. Perubahan *Volume* dengan Kenaikan Suhu di Pipa *Unrestrained*

$$\frac{dV}{V} = 3\beta(T1 - T2) \qquad \text{A-7}$$

where:

β = coefficient of expansion of pipe material, 1/°F

β = 6.5*10-6/°F for steel at 70°F

A.1.6. Volume Change with Temperature Increase in Restrained Pipe

$$\frac{dV}{V} = 2\beta(1 + v)(T1 - T2) \qquad \text{A-8}$$

For steel pipes, v = 0.3, so

$$\frac{dV}{V} = 2.6\,\beta(T1 - T2) \qquad \text{A-9}$$

A.1.7. Overall Change in Pressure

The change in pressure can be related to the change in temperature by equating the change in fluid volume to the change in pipe volume.

For an unrestrained steel line, use Equations A-1, A-2, A-4 and A-7.

$$\frac{dV}{V} = \alpha(T1 - T2) - \frac{dP}{K} = \frac{0.95\,dP\,D}{Et} + 3\beta(T1 - T2)\left(\frac{0.95\,D}{Et} + \frac{1}{K}\right) * dP = (\alpha - 3\beta)(T1 - T2)\;dP = \frac{(\alpha - 3\beta)}{\frac{0.95\,D}{t} + \frac{E}{K}}E\,(T1 - T2) \quad \text{kPa (psi)} \qquad \text{A-10}$$

Equation A-10 can be simplified for water and for oil by substitutingtypical values as follows:

α = 138.9 * 10-6/°F for water

$$\frac{dV}{V} = 3\beta(T1 - T2) \qquad \text{A-7}$$

dimana:

β = koefisien pemuaian dari pemuaian material pipe, 1/°F

β = 6.5*10-6/°F untuk baja 70°F

A.1.6. Perubahan *Volume* dengan Peningkatan Suhu di Pipa *Restrained*

$$\frac{dV}{V} = 2\beta(1 + v)(T1 - T2) \qquad \text{A-8}$$

Untuk pipa baja, v = 0.3, jadi

$$\frac{dV}{V} = 2.6\,\beta(T1 - T2) \qquad \text{A-9}$$

A.1.7. Perubahan Keseluruhan dalam Tekanan

Perubahan tekanan dapat dikaitkan dengan perubahan suhu dengan cara menyamakan perubahan dalam *volume* fluida dengan perubahan *volume* pipa.

Untuk *unrestrained steel line*, gunakan Persamaan A-1, A-2, A-4 dan A-7.

$$\frac{dV}{V} = \alpha(T1 - T2) - \frac{dP}{K} = \frac{0.95\,dP\,D}{Et} + 3\beta(T1 - T2)\left(\frac{0.95\,D}{Et} + \frac{1}{K}\right) * dP = (\alpha - 3\beta)(T1 - T2)\;dP = \frac{(\alpha - 3\beta)}{\frac{0.95\,D}{t} + \frac{E}{K}}E\,(T1 - T2) \quad \text{kPa (psi)} \qquad \text{A-10}$$

Persamaan A-10 dapat disederhanakan untuk air dan minyak dengan mengganti nilai tipikal sebagai berikut:

α = 138.9 * 10-6/°F untuk air

α = 450 * 10-6/°F for oil

β = 6.5 * 10-6/°F for steel

E = 30 * 106 psi for steel

K = 0.3 * 106 psi for water

K = 0.2 * 106 psi for oil

$dP = \frac{90350\ (T1-T2)}{\frac{D}{t}+105}$ kPa for water, T1 and T2 oC

$dP = \frac{7280\ (T1-T2)}{\frac{D}{t}+105}$ Psi for water, T1 and T2 oF

$dP = \frac{168800\ (T1-T2)}{\frac{D}{t}+158}$ kPa for oil, T1 and T2, oC

$dP = \frac{13600\ (T1-T2)}{\frac{D}{t}+158}$ Psi for oil, T1 and T2 oF

For restrained steel line, use equations A-1, A-2, A-6, and A-9

$\frac{dV}{V} = \alpha(T1 - T2) - \frac{dP}{K} = \frac{0.91\ dP\ D}{Et} + 2.6\beta(T1 - T2)\left(\frac{0.91\ D}{Et} + \frac{1}{K}\right) dP = (\alpha - 2.6\ \beta)\ (T1 - T2)\ \ dP = \frac{f(\alpha-2.6\beta)E(T1-T2)}{\frac{0.91\ D}{t}+\frac{E}{K}}$ A-11

Equation A-11 can be simplified for water and for oil by substituting the typical values above:

$dP = \frac{95400\ (T1-T2)}{\frac{D}{t}+110}$ kPa for water, T1 and T2 oC

$dP = \frac{7685\ (T1-T2)}{\frac{D}{t}+110}$ Psi for water, T1 and T2 oF

$dP = \frac{177500\ (T1-T2)}{\frac{D}{t}+165}$ kPa for oil, T1

α = 450 * 10-6/°F untuk minyak

β = 6.5 * 10-6/°F untuk baja

E = 30 * 106 psi untuk baja

K = 0.3 * 106 psi untuk air

K = 0.2 * 106 psi untuk minyak

$dP = \frac{90350\ (T1-T2)}{\frac{D}{t}+105}$ kPa untuk air, T1 dan T2 Oc

$dP = \frac{7280\ (T1-T2)}{\frac{D}{t}+105}$ Psi untuk air, T1 dan T2 oF

$dP = \frac{168800\ (T1-T2)}{\frac{D}{t}+158}$ kPa untuk minyak, T1 dan T2, oC

$dP = \frac{13600\ (T1-T2)}{\frac{D}{t}+158}$ Psi untuk minyak, T1 dan T2 oF

Untuk *restrained steel line*, gunakan persamaan A-1, A-2, A-6, dan A-9

$\frac{dV}{V} = \alpha(T1 - T2) - \frac{dP}{K} = \frac{0.91\ dP\ D}{Et} + 2.6\beta(T1 - T2)\left(\frac{0.91\ D}{Et} + \frac{1}{K}\right) dP = (\alpha - 2.6\ \beta)\ (T1 - T2)\ \ dP = \frac{f(\alpha-2.6\beta)E(T1-T2)}{\frac{0.91\ D}{t}+\frac{E}{K}}$ A-11

Persamaan A-11 dapat disederhanakan untuk air dan minyak dengan mengganti tipikal nilai-nilai di atas:

$dP = \frac{95400\ (T1-T2)}{\frac{D}{t}+110}$ kPa untuk air, T1 dan T2 Oc

$dP = \frac{7685\ (T1-T2)}{\frac{D}{t}+110}$ Psi untuk air, T1 dan T2 oF

$dP = \frac{177500\ (T1-T2)}{\frac{D}{t}+165}$ kPa untuk and T2, oC

$$dP = \frac{14300\,(T1 - T2)}{\frac{D}{t} + 165}$$ Psi for oil, T1 and T2 oF

minyak, T1 dan T2, oC

$$dP = \frac{14300\,(T1 - T2)}{\frac{D}{t} + 165}$$ Psi untuk minyak, T1 dan T2 oF

A.1.8. Pipe with Buried Sections

The equations above assume that the whole pipe is aboveground, exposed to the sun. Many lines will have aboveground sections and buried sections. In such cases only the aboveground section of pipe and fluid is heated by the sun and will expand due to pressure and temperature increases. The buried section of pipe and fluid will not be heated, but will expand due to the pressure rise.

Thus, the equations for liquid expansion and pipe expansion due to a pressure change stay the same. For a restrained line:

$$\frac{dV}{V} = \frac{dP}{K} \qquad \text{A-2}$$

$$\frac{dV}{V} = \frac{0.91\,dP\,D}{Et} \qquad \text{A-6}$$

Now consider the change in volume of the pipe due to heating of the aboveground section of a restrained line. Subscript “a” refers to the aboveground section, and subscript “b” refers to the buried section.

Initial Diameters D = Da = Db

Initial and Final Aboveground Length La

Initial and Final Buried Length Lb

A.1.8. Bagian Pipa yang terkubur

Persamaan di atas mengasumsikan bahwa seluruh pipa berada di atas permukaan tanah, terpapar sinar matahari. Banyak jalur memiliki bagian di atas tanah dan bagian yang terkubur. Dalam kasus seperti itu, hanya bagian pipa dan fluida di atas permukaan tanah yang dipanaskan oleh matahari dan akan mengembang karena tekanan dan suhu yang meningkat. Bagian pipa dan fluida yang terkubur tidak akan dipanaskan, tetapi akan mengembang karena kenaikan tekanan.

Dengan demikian, persamaan pemuaian fluida dan pemuaian panjang pipa akibat perubahan tekanan tetap sama. Untuk jalur *restrained*:

$$\frac{dV}{V} = \frac{dP}{K} \qquad \text{A-2}$$

$$\frac{dV}{V} = \frac{0.91\,dP\,D}{Et} \qquad \text{A-6}$$

Sekarang pertimbangkan perubahan *volume* pipa karena pemanasan bagian atas permukaan tanah dari jalur *restrained*. Subskrip "a" merujuk ke bagian atas tanah, dan subskrip "b" merujuk ke bagian yang terkubur.

Diameter Awal D = Da = Db

Panjang Awal dan Akhir Di Atas Permukaan Tanah La

Panjang Awal dan Akhir Terkubur *Lb*

Initial and Final Total Length L = La + Lb

Final Diameters Db = D

Daf = Da + βDa (1 + v) (T1 - T2)

Daf = D{1 + β (1 + v) (T1 - T2)}

Initial Volume Vi = (π/4) (D^2) L = (π/4) (D^2)(La + Lb)

Final Volume can be determined as follows:

Vf = (π/4) (D2) Lb + (π/4) (D2){1 + β (1 + v) (T1 - T2)}^{2} (La)

Vf = (π/4) (D^2) Lb+(π/4) (D^2) La * {1+2β (1+v) (T1-T2) + $β^2$ $(1+v)^2$ $(T1-T2)^2$}

The last term is small compared to the others, so

Vf = (π/4) (D^2) (La + Lb) + (π/4) (D^2) La (2β) (1 + v) (T1 - T2)

Vf = Vi + (π/2) (D^2) La β (1 + v) (T1 - T2)

Dv = Vf - Vi = (pi/2) (D^2) La β (1 + v) (T1 - T2)

$$\frac{dV}{V} = \frac{\frac{\pi}{2}\left(D^2\right) L\alpha\, \beta\, (1+v)(T1-T2)}{\frac{\pi}{4} * (D^2)(L\alpha+Lb)}$$

$$\frac{dV}{V} = \frac{L\alpha}{(L\alpha+Lb)} * 2\, \beta(1+v)(T1-T2)$$

Let f $= \frac{L\alpha}{(L\alpha+Lb)} =$ fraction of line above ground

$$\frac{dV}{V} = 2 * f * \beta(1+v)(T1-T2)$$

For a steel line with v= 0.3

$$\frac{dV}{V} = 2.6 * f * \beta\, (T1-T2) \qquad \text{A-12}$$

Similarly, the volume change of the

Panjang Total Awal dan Akhir L = La + Lb

Diameter Akhir Db = D

Daf = Da + βDa (1 + v) (T1 - T2)

Daf = D{1 + β (1 + v) (T1 - T2)}

Volume Awal Vi = (π/4) (D^2) L = (π/4) (D^2)(La + Lb)

Volume Akhir dapat ditentukan sebagai berikut:

Vf = (π/4) (D2) Lb + (π/4) (D2){1 + β (1 + v) (T1 - T2)}^{2} (La)

Vf = (π/4) (D^2) Lb+(π/4) (D^2) La * {1+2β (1+v) (T1-T2) + $β^2$ $(1+v)^2$ $(T1-T2)^2$}

Istilah terakhir ini kecil dibandingkan dengan yang lain, jadi

Vf = (π/4) (D^2) (La + Lb) + (π/4) (D^2) La (2β) (1 + v) (T1 - T2)

Vf = Vi + (π/2) (D^2) La β (1 + v) (T1 - T2)

Dv = Vf - Vi = (pi/2) (D^2) La β (1 + v) (T1 - T2)

$$\frac{dV}{V} = \frac{\frac{\pi}{2}\left(D^2\right) L\alpha\, \beta\, (1+v)(T1-T2)}{\frac{\pi}{4} * (D^2)(L\alpha+Lb)}$$

$$\frac{dV}{V} = \frac{L\alpha}{(L\alpha+Lb)} * 2\, \beta(1+v)(T1-T2)$$

Let f $= \frac{L\alpha}{(L\alpha+Lb)} =$ *fraction of line above ground*

$$\frac{dV}{V} = 2 * f * \beta(1+v)(T1-T2)$$

Untuk garis baja dengan v = 0,3

$$\frac{dV}{V} = 2.6 * f * \beta\, (T1-T2) \qquad \text{A-12}$$

Begitu pula dengan perubahan

liquid due to a temperature change willbe the following:

$$\frac{dV}{V} = f * \alpha\,(T1 - T2) \qquad \text{A-13}$$

To solve for the pressure rise, equate liquid volume changes to pipe volumechanges

$$\frac{dV}{V} = f * \alpha\,(T1 - T2) - \frac{dP}{K} = \frac{0.91\,dP\,D}{Et} + 2.6 * f * \beta(T1 - T2)\left(\frac{0.91\,D}{Et} + \frac{1}{K}\right)dP = f(\alpha - 2.6\,\beta)(T1 - T2)\,dP = \frac{f\,(\alpha - 3\beta)\,E\,(T1 - T2)}{\frac{0.91\,D}{t} + \frac{E}{K}} \qquad \text{A-14}$$

Comparing Equation A-14 to Equation A-11 shows that the pressure rise for the pipe with buried sections is just the fraction of line aboveground times the pressure rise for an aboveground line.

A.1.9. Maximum Temperature for an Exposed Pipe

For an exposed pipe, the heat input per unit length due to solar radiation is 950 W/m² (300 BTU/hr ft²) times the pipe outside diameter:

where :

Qs = C3*D W/m (BTU/hr ft) A-15

C3 = 950 W/m² for Metric units

C3 = 300 BTU/hr ft² for English units

D = pipe outside diameter, m

The solar heat input will just balance

volume cairan karena adanya perubahan suhu adalah sebagai berikut:

$$\frac{dV}{V} = f * \alpha\,(T1 - T2) \qquad \text{A-13}$$

Untuk mengatasi kenaikan tekanan, samakan perubahan *volume* cairan dengan perubahan *volume* pipa

$$\frac{dV}{V} = f * \alpha\,(T1 - T2) - \frac{dP}{K} = \frac{0.91\,dP\,D}{Et} + 2.6 * f * \beta(T1 - T2)\left(\frac{0.91\,D}{Et} + \frac{1}{K}\right)dP = f(\alpha - 2.6\,\beta)(T1 - T2)\,dP = \frac{f\,(\alpha - 3\beta)\,E\,(T1 - T2)}{\frac{0.91\,D}{t} + \frac{E}{K}} \qquad \text{A-14}$$

Membandingkan Persamaan A-14 dengan Persamaan A-11 menunjukkan bahwa kenaikan tekanan untuk pipa dengan bagian yang terkubur hanyalah sedikit dari jalur di atas permukaan tanah dikalikan dengan kenaikan tekanan untuk jalur di atas permukaan tanah.

A.1.9. Suhu Maksimum untuk Pipa Terbuka

Untuk pipa terbuka, *input* panas per satuan panjang akibat radiasi *solar* adalah 950 W/m² (300 BTU/jam ft²) kali diameter luar pipa:

dimana:

Qs = C3*D W/m (BTU/hr ft) A-15

C3 = 950 W/m² untuk unit Metric

C3 = 300 BTU/hr ft² untuk unit English

D = Diameter luar pipa, m

Input panas matahari hanya akan

the convection and radiation heat loss at the maximum temperature. The heat loss can be calculated using Equations 1 and 2 in paragraph 5.2.4 for an assumed maximum temperature T1 until the heat losses equal the heat input:	menyeimbangkan konveksi dan kehilangan panas radiasi pada suhu maksimum. Kehilangan panas dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 1 dan 2 dalam paragraf 5.2.4 untuk suhu maksimum yang diasumsikan T1 sampai kehilangan panas sama dengan *input/* masukan panas:
C3*D = C1 (D0.75) (T1 - Ta)1.25 + C2*D {(T1/100)4 - (Ta/100)4} A-16	C3*D = C1 (D0.75) (T1 - Ta)1.25 + C2*D {(T1/100)4 - (Ta/100)4} A-16
Then, the change in pressure can be calculated for the change in temperature using equations such as Equation A-10, A-11 or A-14.	Kemudian, perubahan tekanan dapat dihitung untuk perubahan suhu menggunakan persamaan seperti Persamaan A-10, A-11 atau A-14.
Depending on the size of the pipe, it may take a while to reach the maximum temperature. An iterative process is needed to predict the temperature change every hour.	Tergantung pada ukuran pipa, mungkin diperlukan beberapa saat untuk mencapai suhu maksimum. Diperlukan proses secara berulang untuk memprediksikan perubahan suhu setiap jam.
Evaluate the heat capacity of the pipe and the contents as follows:	Evaluasi kapasitas panas pipa dan isinya sebagai berikut:
C = (CpM) pipe + (CpM) contents A-17	C = (CpM) pipa + (CpM) isi A-17
Where:	Dimana:
C = heat capacity per unit length, J/°C m (BTU/°F ft)	C = kapasitas panas per panjang unit, J/°C m (BTU/°F ft)
Cp = specific heat, J/kg °C (BTU/lb °F)	Cp = *specific heat*, J/kg °C (BTU/lb °F)
M = mass per unit length, kg/m	M = masa perpanjang unit, kg/m
Set the initial conditions of ambient temperature Ta, pipe temperature T2, and pressure P at time 0 hours. Then, assume a temperature	Atur kondisi awal *temperature ambien* Ta, temperatur pipa T2, dan tekanan P pada waktu 0 jam. Kemudian, asumsikan perubahan

change dT for the first hour. The average temperature for the first hour is T = T2 + (dT/2). Now calculate the heat input and losses :

Qs = C3*D A-18

Qc = C1 (D0.75) (T - Ta) 1.25 A-19

Qr = C2*D {(T/100)4 - (Ta/100)4} A-20

(C1 and C2 are defined in paragraph 5.2.4, C3 in Equation A-15)

Calculate dT as follows:

dT = (Qs-Qc-Qr) / C (3600 sec), in °C, A-21

for metric units or

dT = (Qs-Qc-Qr) / C (1 hr), in °F, A-22

for English units

If the calculated value of dT is not close to the assumed value, keep trying until the two are close. Then, the final temperature at the end of the hour is T1 = T2 + dT and the pressure rise can be calculated for the temperaturerise dT. The same procedure can be continued as long as desired to determine the temperature and the pressure versus time.

A.2 Temperature rises quickly for small pipes and slowly for large pipes. Thus, for small pipes the maximum temperature is usually reached within 10 hours, but for large pipes

suhu dT untuk satu jam pertama. Suhu rata-rata untuk satu jam pertama adalah T = T2 + (dT / 2). Sekarang hitung panas yang masuk dan panas yang hilang:

Qs = C3*D A-18

Qc = C1 (D0.75) (T - Ta) 1.25 A-19

Qr = C2*D {(T/100)4 - (Ta/100)4} A-20

(C1 dan C2 didefinisikan dalam paragraf 5.2.4, C3 dalam Persamaan A-15)

Hitung dT sebagai berikut:

dT = (Qs-Qc-Qr) / C (3600 sec), in °C, A-21

untuk unit metrik atau

dT = (Qs-Qc-Qr) / C (1 hr), in °F, A-22

untuk unit bahasa Inggris

Jika nilai dT yang dihitung tidak mendekati nilai yang diasumsikan, teruslah mencoba hingga mendekati dua. Kemudian, suhu akhir di penghujung jam adalah T1 = T2 + dT dan kenaikan tekanan dapat dihitung untuk kenaikan suhu dT. Prosedur yang sama dapat dilanjutkan selama diinginkan untuk menentukan suhu dan tekanan terhadap waktu.

A.2 Suhu naik dengan cepat untuk pipa kecil dan perlahan untuk pipa besar. Jadi, untuk pipa kecil suhu maksimum biasanya dicapai dalam waktu 10 jam, tetapi untuk the temperature may not approach the maximum in 10 hours. Therefore, a large pipe may not need thermal relief valves if the temperature and pressure do not reach the maximum values within the 10 hours of solar radiation assumed for one day.

pipa besar suhunya mungkin tidak mendekati maksimum dalam 10 jam. Oleh karena itu, pipa besar mungkin tidak memerlukan *relief valve* panas jika suhu dan tekanan tidak mencapai nilai maksimum dalam 10 jam dari asumsi radiasi matahari untuk satu hari.