

S K R I P S I

ANALISA DISAIN TUMPUAN PIPA UNTUK PIPA KRYOGENIK



UNIVERSITAS
MERCU BUANA

Disusun oleh:

YAYAT SUPRIAT
NIM: 4130412-055

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS MERCU BUANA
JAKARTA
2007**

PENGESAHAN

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
guna memperoleh gelar **SARJANA**
di Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Universitas Mercubuana
Jakarta

Disusun oleh :

Nama : YAYAT SUPRIAT
NIM : 4130412-055

Disetujui untuk diuji,
Dosen pembimbing

Ir. Rulli Nutranta M. Eng

PERNYATAAN

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi ini adalah asli hasil karya saya dan tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau dipublikasikan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis atau dipublikasikan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis disebutkan sumbernya dalam naskah dan dalam daftar pustaka.

Jakarta, Maret 2007

Yayat Supriat

ABSTRAK

Pipe Clamp merupakan salah satu komponen sebagai penyangga pipa yang berfungsi menahan beban pipa dan fluida di dalam pipa untuk menghindari over stress pipa sehingga pipa tetap bisa melakukan proses kerja tanpa mengganggu proses kerja pipa pada saat liquid melewati pipa tersebut. Dalam penggunaannya, Pipe Clamp tidak terlepas dari perhitungan gaya dan perubahan suhu yang bekerja pada pipa tersebut.

Siding Shoe

$$F_{\text{clamp axial}} = \frac{FV (\mu \text{BASE} - \mu \text{PUF}) + \mu \text{BASE FSHOE}}{2 \mu \text{PUF}}$$

Guide Shoe

$$F_{\text{Clamp Axial}} = \frac{\mu \text{BASE} (FV + FSHOE) + \mu \text{STEEL FL} - \mu \text{PUF FL} - \mu \text{PUF FV}}{2 \mu \text{PUF}}$$

Untuk mengatasi gaya-gaya yang bekerja dan perubahan suhu pada pipa tersebut, maka salah satunya dilakukan analisa terhadap distribusi gaya Pipe Clamp dan disain disc spring, baut, serta pemilihan ear lug yang merupakan komponen-komponen penting pada pipe clamp.

Disc Spring

$$\text{Jumlah disc spring} = \frac{\text{jarak.peng ker u tan}}{\text{defleksi.perset.discspring}}$$

Baut

$$\begin{aligned} \text{Panjang baut} &= \text{susunan disc pd kondisi normal} + (2 \times \text{tebal washer}) + \\ &(2 \times \text{tebal ear lug}) + 40 \text{ gap ear lug} + (2 \times \text{diameter baut}) \end{aligned}$$

Ear Lug

Pemilihan ear lug berdasarkan tabel ukuran dari disc spring dan gaya pada kondisi normal pada baut. kapasitas gaya dari setiap ear lug dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Ear Type	Disc Diameter	Load Capacity Newtons	Ear Description
34-12-020	34	2,000N	50x50x6 Equal Angle
34-12-035	34	3,500N	75x75x8 Equal Angle
34-12-055	34	5,500N	75x75x10 Equal Angle
34-12-070	34	7,000N	75x75x8 Equal Angle w. Gussets
60-20-180	60	18,000N	100x100x10 Equal Angle w. Gussets
60-25-440	60	44,000N	Fabricated 20mm w. Gussets

Proses analisa distribusi gaya pada pipe clamp yang dimulai dari memahami kondisi operasional pipe clamp, menghitung gaya-gaya yang bekerja serta desain disc spring, baut, dan pemilihan ear lug yang dilakukan untuk mengetahui apakah desain dan perhitungan gaya dari pipe clamp aman terhadap pipa saat pipa melakukan proses kerja akibat liquid yang melewatinya itu.

لَا إِكْرَاهٌ فِي الدِّينِ قَدْ تَبَيَّنَ الرُّشْدُ مِنَ الْغَيْرِ فَمَن يَكُفُرُ بِالظَّنِّ
وَيُؤْمِنُ بِاللَّهِ فَقَدِ اسْتَمْسَكَ بِالْعُرْوَةِ الْوُثْقَى لَا أَنْفِصَامَ لَهَا وَاللَّهُ سَمِيعٌ

٢٥١ عَلِيمٌ

Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya. Ia mendapat pahala (dari kebaikan) yang diusahakannya dan ia mendapat siksa (dari kejahatan) yang dikerjakannya. (Mereka berdo'a); "Ya Tuhan kami, janganlah Engkau hukum kami jika kami lupa atau kami tersalah. Ya Tuhan kami, janganlah Engkau bebankan kepada kami beban yang berat sebagaimana Engkau bebankan kepada orang-orang sebelum kami. Ya Tuhan kami, jangan Engkau pikulkan kepada kami apa yang tak sanggup kami memikulnya. Beri ma'aflah kami; ampunilah kami; dan rahmatilah kami. Engkau Penolong kami, maka tolonglah kami terhadap kaum yang kafir.

(Q.S. Al Baqarah 286)

إِنَّ مَعَ لُعْسَرٍ يُسْرًا ① فَإِذَا فَرَغْتَ فَانصَبْ ② وَإِلَى رَبِّكَ فَارْغَبْ ③

Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan. Maka apabila telah selesai (dari sesuatu urusan), kerjakanlah dengan sungguh-sungguh (urusan) yang lain, dan hanya kepada Tuhanmu lah hendaknya kamu berharap.

(Q.S. Al Am Nasyrah 6 - 8)

Sembah bakti ananda untuk Ayahanda dan Ibunda tersayang

Semoga persembahan kecil ini dapat memberi banyak arti bagi keluarga tercinta

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT yang senantiasa menyertai serta melimpahkan karunia, nikmat dan pengetahuan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul “Analisa Kekuatan Clamp Pipe untuk Kondisi Temperatur -160°C Cryogenic” di Jakarta.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan dan bimbingan berbagai pihak. Oleh karena itu penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Ayah dan Ibu yang tercinta, yang tiada henti-hentinya dan tiada pernah merasa lelah memberikan kasih sayang dan perhatiannya kepada seluruh anak-anaknya.
2. Bapak Ir. Rulli Nutranta M. Eng, selaku pembimbing I yang telah banyak memberikan bimbingan dan pengarahan selama penulisan Tugas Akhir ini.
3. Oke Diliardi selaku Engineering Staff PT BINDER INDONESIA, yang banyak membantu dalam memberikan ide-ide cemerlang dalam penyelesaian tugas akhir ini.
4. Teman – teman PKSM Teknik Mesin angkatan 2005 yang telah memberi dorongan selama penyelesaian tugas akhir.
5. Pihak management PT BINDER INDONESIA, yang telah mengijinkan penelitian terhadap produk PT BINDER INDONESIA.
6. Seluruh Dosen Program Studi Teknik Mesin Mercubuana, ”Terima kasih atas ilmu yang diberikan semoga dapat saya amalkan dan pergunakan dengan sebaik-baiknya..”
7. Semua Staff Akademik dan Tata Usaha Jurusan Teknik Mesin Mercubuana, ”Terima kasih atas segala bantuan yang diberikan...”
8. Semua Staff dan Karyawan PT BINDER INDONESIA, ”Terima kasih atas kerjasamanya...”

9. My Sabbihiyah "Rindi Antika", yang selalu memberikan semangat dan perhatiannya, "Insya Allah kita akan selalu dimudahkan..., Jangan pernah berubah yach, "A" berusaha menjadi yang terbaik...."
10. Ucup (dari dulu biginilah CINTA, deritanya tiada AKHIR....), Siswo (yang selalu merangkai rambut disaat-saat sedang BT), Boy and adeknya ucup "Harry Junaedi" (Terima kasih atas fasilitas Laptop dan Flash disknya), Suheng (Terima kasih kostannya telah jadi basecamp II), Dizky, Sony, Billy, Cunil, Suci (Anak-anak gauls yang selalu ceria).
11. Serta semua pihak yang belum bisa penulis sebutkan satu persatu yang membantu kelancaran penyusunan Tugas Akhir ini.

Semoga amal kebaikan kita semua mendapat balasan dari Allah SWT. Penulis menyadari bahwa dalam penulisan ini masih jauh dari sempurna, untuk itu penulis mangharapkan saran dan kritik yang mambangun. Akhirnya besar harapan penulis semoga Laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis dan pembaca pada umumnya. Amin

Jakarta, Maret 2007

Penulis

DAFTAR NOTASI

D	= tinggi dari sumbu pipa (mm)
$F_{\text{clamp rot n}}$	= gaya yang dibutuhkan untuk mencegah rotasi (N)
F_v	= gaya vertikal (N)
F_{shoe}	= berat dari pipe support (N)
F_L	= gaya lateral (N)
F_v	= gaya vertikal (N)
h	= Jarak radial diukur dari tepi cradle bagian dalam sampai PUF cradle (mm)
H	= Semua lapisan PUF cradle (mm)
T_a	= Suhu Lingkungan ($^{\circ}\text{C}$)
T_c	= Temperatur Cryogenic ($^{\circ}\text{C}$)
T_c	= Temperatur didalam PUF pada kondisi cryogenic pada jarak “h” dari permukaan cradle ($^{\circ}\text{C}$)
T_o	= Temperatur luar Puf cradle ($^{\circ}\text{C}$)
T_i	= Temperatur dalam Puf cradle ($^{\circ}\text{C}$)
W	= lebar dari dasar pipe support (mm)
ΔT	= Perbedaan temperatur antara bagian luar dengan bagian dalam dari PUF ($^{\circ}\text{C}$)
α	= Koefisien muai PUF

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iii
ABSTRAK	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR NOTASI	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang	I.1
1.2. Perumusan Masalah	I.2
1.3. Batasan Masalah	I.2
1.4. Tujuan dan Manfaat	I.3
1.5 . Sistematika Penulisan	I.3

BAB II LANDASAN TEORI

2.1. Pipe Support	II.1
2.2. Gaya Klemp untuk HD PUF Cradles/Guides	II.4
2.3. Pengerutan pada HD PUF Insulation karena suhu	II.13
2.4. Pemilihan Disc Spring, Baut Klemp dan Ear Lug	II.18

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Obyek Penelitian	III.1
3.2 Metode Penelitian	III.1

3.3	Metode Pengumpulan Data	III.1
3.4.	Metode Analisis	III.2

BAB IV ANALISA GAYA DAN DESAIN PADA PIPE SUPPORT

4.1	Gaya klemp untuk HD PUF cradles/guides	IV.1
4.2.	Pengerutan pada HD PUF insulation karena suhu	IV.13
4.3.	Pemilihan Disc Spring, Baut Klemp dan Ear Lug	IV.19

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

5.1	Kesimpulan	V.1
5.2	Saran	V.2

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Piping Runs in Power Application	II.2
Gambar 2.1 Pemakaian gaya luar untuk kombinasi shoe/cradle	II.4
Gambar 2.2 Gaya Perputaran yang disebabkan Moment Balance dari Sumbu Pipe	II.5
Gambar 2.3 Gaya-gaya yang bekerja pada HD PUF isolator	II.6
Gambar 2.4 Gaya-gaya yang menyebabkan HD PUF insulation slip terhadap pipa	II.8
Gambar 2.5 Gabungan gaya axial dan rotasi yang menyebabkan slip	II.9
Gambar 2.6 Gaya-gaya yang bekerja pada guide shoe.	II.10
Gambar 2.7 Gaya-gaya yang bekerja pada axial pipa	II.11
Gambar 2.8 Gaya-gaya axial	II.12
Gambar 3.1 Dimensi-dimensi HD PUF insulation dan klem dimana semua elemen pada saat kondisi normal	II.13
Gambar 3.2 pengertian HD PUF insulation saja	II.14
Gambar 3.3 Profil temperatur sepanjang HD PUF insulation	II.15

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Spesifikasi pemilihan disc spring	II.18
Tabel 1.2 Tipe ear lug	II.20
Tabel 1.3 Desain beban-beban yang digunakan untuk gaya clamp yang diperlukan	IV.3
Tabel 1.4 Beban Sliding Shoe	IV.4
Tabel 1.5 Beban Guide Shoe- Case 1 Non Zero Vertical Load	IV.7
Tabel 1.6 Beban Guide Shoe- Case 2 Zero Concident Vertical Load	IV.8
Tabel 1.7 Desain Beban Clamp	IV.9
Tabel 1.8 Kaitan Tekanan Kompresi dengan Beban Bearing – Vertikal dan Axial	IV.11
Tabel 1.9 Gaya Clamp yang Diizinkan	IV.12
Tabel 1.10 Operasi Temperatur Terhadap Tebal HD PUF	IV.15
Tabel 1.11 Perhitungan Penyusutan HD PUF yang berkaitan dengan Suhu	IV.17
Tabel 1.12 Pemilihan Disc Springs, Clamp Bolts and Ear Lug	IV.23

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran A. Tipe Clamp Pipe SHC4
- Lampiran B. Tipe Clamp Pipe SHC5
- Lampiran C. Tipe Clamp Pipe SHC6
- Lampiran D. Tipe Clamp Pipe SHC7

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Dalam kehidupan sehari-hari, kita tidak lepas dengan yang namanya migas (minyak dan gas bumi). Dan ini sudah merupakan kebutuhan setiap orang. Migas ini dihasilkan bukan dari hasil produksi melainkan dari hasil bumi yang diambil melalui proses pengeboran.

Dalam proses pengambilan minyak dan gas bumi ini tentu saja menggunakan pipa-pipa yang merupakan alat perantara untuk mengambil migas tersebut. Migas di ambil dari perut bumi yang mengalir kepermukaan bumi dengan melalui pipa-pipa untuk diolah lagi dan digunakan untuk kebutuhan manusia di semua negara.

Dalam pemasangan pipa-pipa yang mengalirkan migas dari perut bumi ini tentu tidak mungkin diletakkan begitu saja. Dia memerlukan pegangan atau penyangga pipa itu agar terjaga dari reaksi lain yang bisa menimbulkan bahaya dan reaksi kimia antara pipa dengan lingkungan disekitarnya. Salah satunya komponen yang membantu memegang pipa agar pipa tetap terjaga yaitu **PIPE SUPPORT**. Inilah lingkup masalah yang akan dibahas dalam topik ini yang juga berfungsi sebagai isolator suhu tetap memegang pipa-pipa gas dengan baik.

Pipe Support ini sangat berperan penting dalam industri Oil and Gas maupun pada industri LNG lainnya, karena pipa-pipa yang menyalurkan liquid ini tidak mungkin diletakkan langsung dengan bumi karena ini bisa menimbulkan reaksi kimia dan dapat mempercepat umur pipa.

Gas-gas yang akan dialirkan atau didistribusikan harus diubah menjadi liquid. Untuk merubah gas menjadi liquid dibutuhkan suhu -160°C .

Proses pendistribusian gas melalui pipa yang panjangnya bisa mencapai ratusan kilometer tentu memerlukan isolator yang baik dan penyangga pipa (Pipe Support) yang baik.

Dikarenakan suhu didalam pipa yang mencapai -160°C akan membuat pipa-pipa menjadi mengkerut ketika dioperasikan dan diperlukan clamp pipa yang akan tetap memegang pipa dengan baik ketika dioperasikan tanpa mengganggu proses kerja pipa pada saat liquid melewati pipa-pipa tersebut

Dalam Pipe support yang berfungsi sebagai penyangga pipa tentu tidak berfungsi sebagai penyangga saja, tetapi dia harus mampu selain memegang pipa juga harus bisa mengkondisikan pipa-pipa yang disangganya tetap dalam keadaan bekerja pada posisinya. Dalam artian setiap ada gaya yang bekerja pada pipa, baik pada saat pipa tersebut mengkerut ataupun dalam kondisi normal, pipa tetap bisa melakukan aktifitasnya meskipun ada clamp penyangga pipa tersebut.

1.2. Perumusan Masalah

1. Bagaimana mendesain klemp Puf Cradle untuk Pipe Support.
2. Bagaimana mengatahui pengertian pada Pipe support akibat pengaruh suhu.
3. Bagaimana menentukan Disc Springs, Baut Klemp and Ear Lug.

1.3. Batasan Masalah

1. Gaya yang bekerja pada Klemp Puf Cradle.
2. Density HD PUF pada Pipe Support.
3. Beban yang bekerja pada baut serta pengaruhnya terhadap pemilihan ukuran baut, disc spring and ear lug.
4. Ancilaries untuk klemp Puf Cradle diabaikan.
5. Kekuatan steel cradle, shoe cradle, and ear lug diabaikan.

1.4. Tujuan dan Manfaat

Setiap ada tender sebuah pekerjaan untuk insulation pipe support untuk pipe LNG (Cryogenic pipe), client memerlukan perhitungan dari setiap pipe support untuk mengetahui bahwa pipe support berjalan dengan baik.

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah:

1. Mengetahui faktor –faktor yang membuat Insulation pipa tetap terjaga.
2. Mengetahui gaya yang bekerja pada setiap insulation Pipe Support.
3. Mengetahui komponen-komponen penting pada Pipe Support

Manfaat dari penulisan tugas akhir ini adalah:

1. Memberikan masukan tentang metode yang baik untuk penyangaan pipa dengan menggunakan Pipe Support.
2. Menjamin pipe support berjalan dengan baik.

1.5. Sistematika Penulisan

Secara garis besar sistematika penulisan adalah sebagai berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini berisi Latar Belakang Masalah, Perumusan Masalah, Batasan Masalah, Tujuan dan Manfaat dan Sistematika Penulisan.

BAB II : LANDASAN TEORI

Bab ini berisi tentang Pipe Support, Gaya Clamping untuk HD Puf Cradles/Guides, Pengertian pada HD PUF Insulation Karena Suhu, dan Pemilihan Disc Spring, Baut Klem dan Ear Lug.

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi tentang Obyek Penelitian, Metode Penelitian, Metode Pengumpulan Data dan Metode Analisis.

BAB IV : ANALISA GAYA DAN DESAIN PADA PIPE SUPPORT

Bab ini berisi tentang perhitungan gaya klemp untuk HD PUF cradle/guide, Pengerutan pada HD PUF insulation karena suhu dan desain Disc Spring, baut, dan pemilihan ear lug.

BAB V : PENUTUP

Bab ini berisi mengenai Kesimpulan dan Saran.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Pipe Support

Pipa dapat terbuat dari besi, plastik, kayu, beton atau fiberglass. Fungsi dari pipa adalah untuk membawa cairan, gas, atau particle kecil.

Sistem pipa secara umum digambarkan adalah interkoneksi pipa, yang termasuk penyambung pipa, pompa, heat exchanger, katup, dan tangki. Keberadaan sistem pipa dalam dunia industri sangat penting, seperti terlihat dalam PAM, sistem irigasi untuk pertanian, dan lain-lain. Awal mula desain dari sistem pipa adalah ketika pipa digunakan untuk mengalirkan cairan dari satu tempat ke tempat lain.

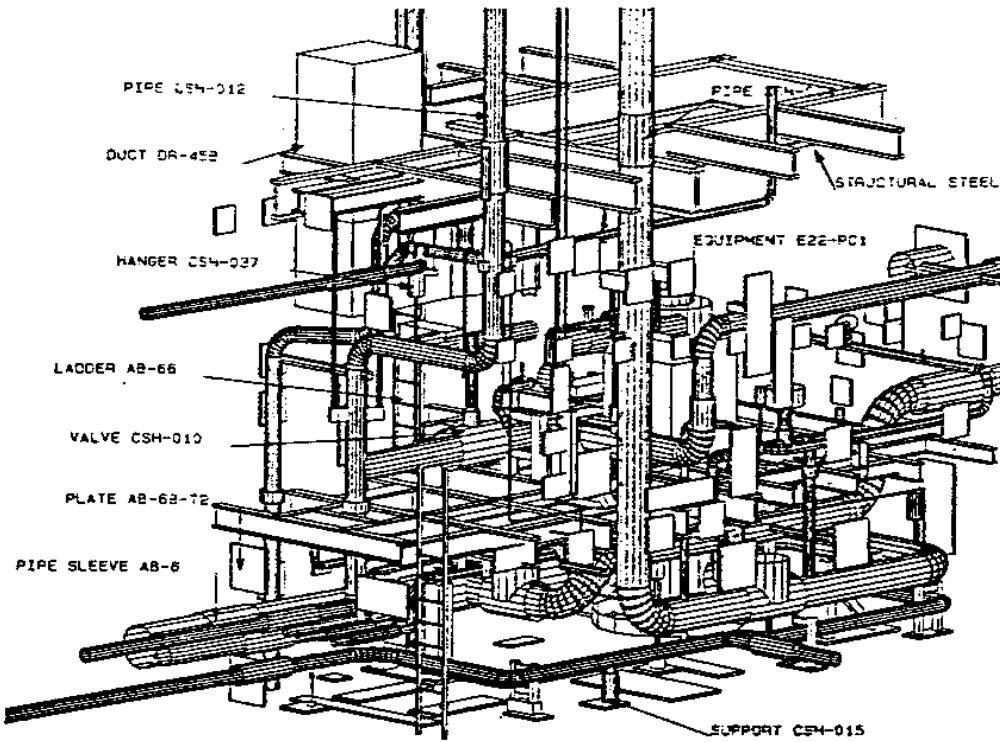
Dalam menghitung stress analisa pada sistem pipa, Pipe Support sangat diperlukan karena dia berfungsi untuk menjaga titik-titik kritis pada sistem pipa, sehingga tidak terjadi patah atau kebocoran pada sistem pipa.

Dalam pemilihan pipe support, ada beberapa kriteria yang harus dipertimbangkan:

1. Suhu dari pipa, karena pipe support bersentuhan langsung dengan pipa.
2. Pipa yang bersuhu tinggi atau rendah biasanya diisolasi, sehingga pipe support harus bisa mengakomodasikan dengan isolasi pipa.
3. Pipe support dan struktur bangunan yang bersentuhan langsung dengan pipa, harus mempunyai struktur material yang sesuai. Ini berguna untuk mengurangi karat yang terjadi pada pipa.

Tipe-tipe dari pipe support yang sering dipakai adalah sebagai berikut:

1. Weight Support (rod hanger, sliding support, variable spring)
2. Anchor (Clamp, strut, steel support)
3. Snubber (hydraulic and mechanical)
4. Sway braces.



Gambar 1.1

1. Weigth Support

Pipe Support ini berguna untuk menjaga gaya vertikal saja, dan digunakan dalam sistem pipa karena berat pipa, suhu, dan gempa.

a) Rigid Support

Pemilihan dari pipe support ini berdasarkan karena tidak adanya pergerakan vertikal oleh suhu dalam pipa.

Cara yang biasa digunakan untuk sistem ini adalah dengan rod hanger, karena murah dan juga rod hanger memiliki gaya tegangan yang tinggi, dan dapat berayun kecil karena gaya yang signifikan.

b) Sliding support

Sliding support digunakan ketika tidak ada struktur di atas pipa.

Sliding support ini berguna untuk mengakomodasi pergerakan horizontal pipa karena suhu dalam pipa.

c) variable spring support

Rod hanger dan sliding support digunakan ketika tidak ada pergerakan vertikal. Tapi ketika ada pergerakan yang besar akibat suhu dalam pipa yang dapat menyebabkan over stress dalam pipa, sehingga pipa dapat bergerak ke atas. Karena itu diperlukan variable spring support untuk menjaga tidak terjadi over stress.

2. Rigid restraints

Rigid restraints digunakan untuk menyangga berat pipa, pergerakan karena suhu dan gaya operasi pada satu lokasi. Pipe support ini digunakan apabila pergerakan pipa sangat kecil. Rigid restraints dapat dibuat dalam bentuk yang sederhana., seperti dari struktur besi (besi siku, besi H, dan lain-lain).

3. Snubber (hydraulic and mechanical)

Snubber digunakan untuk memproteksi sistem pipa dari gaya dan pergerakan yang abnormal seperti gempa bumi atau kesalahan mekanisme pada pipa.

4. Sway braces

Sway braces digunakan ketika pergerakan yang besar dalam arah horizontal pada pipa.

2.2 Gaya Klemp untuk HD PUF Cradles/Guides

Bagian ini meliputi perancangan pengaturan clamping yang baik untuk mengatasi daya dorong di sekitar sumbu dan mencegah pergeseran antara PUF cradle dan pipa untuk menghindari kerusakan antara isolasi/penyekatan density yang tinggi dan rendah.

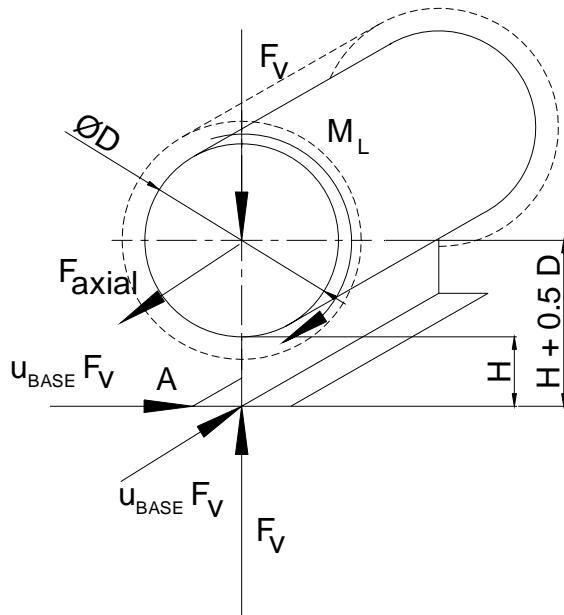
Kedua-duanya sliding shoe/cradles dan guide shoe/cradles untuk dianalisa.

Kalkulasi ini mengedepankan pengembangan algoritma untuk:

- Gaya clamping diperlukan pada temperatur cryogenic untuk sliding shoe/cradles
- Gaya clamping diperlukan pada temperatur cryogenic untuk guide shoe/cradles

A. Sliding Shoe

- Pemakaian gaya luar untuk kombinasi shoe/cradle



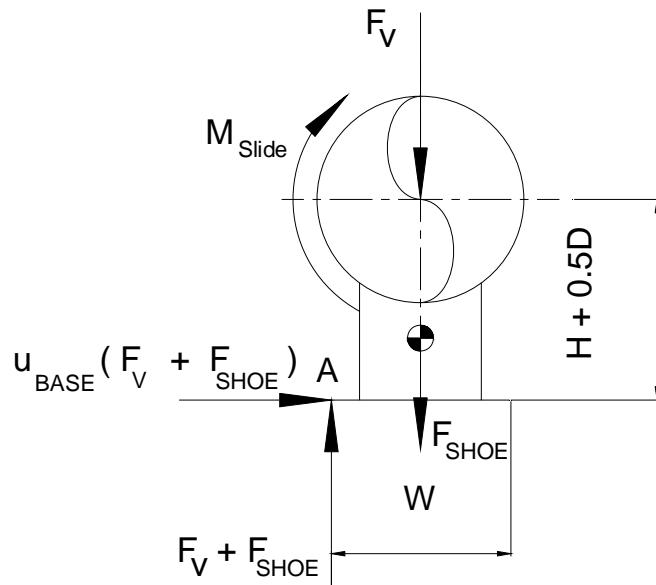
Gambar 2.1

1.1 Gaya-gaya eksternal yang mempengaruhi pipa

Gaya axial, F_{axial} , adalah gaya yang sejajar arah pipa dan melalui pusat pipa. Gaya ini dikarenakan oleh suhu cryogenic, yang menyebabkan penyusutan pipa dan juga dihasilkan oleh pergesekan antara dasar Pipe Support dan Permukaan geser pipe support. Gaya lateral juga dihasilkan di dasar Pipe Support dalam kaitan dengan pergesekan antar dasar Pipe Support dan permukaan geser pipe support. Gaya gesek axial yang di sekitar pipa mempunyai kcenderungan untuk mendorong PUF sepanjang pipa. Gaya gesek dari samping pipa punya kccenderungan untuk memutar HDPUF Isolator sepanjang sumbu pipa. HDPUF Isolator harus diklem oleh Pipe Support dengan kekuatan cukup sehingga menjaga HDPUF Isolator tidak bergeser dari Pipe Support dan Pipa, untuk menghindari kegagalan fungsi Isolator oleh HDPUF.

2. Perhitungan dari Gaya Perputaran yang disebabkan Moment Balance dari Sumbu Pipe

Gambar dibawah ini memperlihatkan gaya-gaya yang dapat menyebabkan perputaran pada Pipe Support.



Gambar 2.2

Diagram diatas menggambarkan kondisi dari pipe support apabila Pipe Support berputar. Gaya reaksi pada beban vertikal yang menyebabkan gaya ekstrem pada bawah Pipe Support di titik "A".

Perhitungan dari momen pada sekitar sumbu pipa:

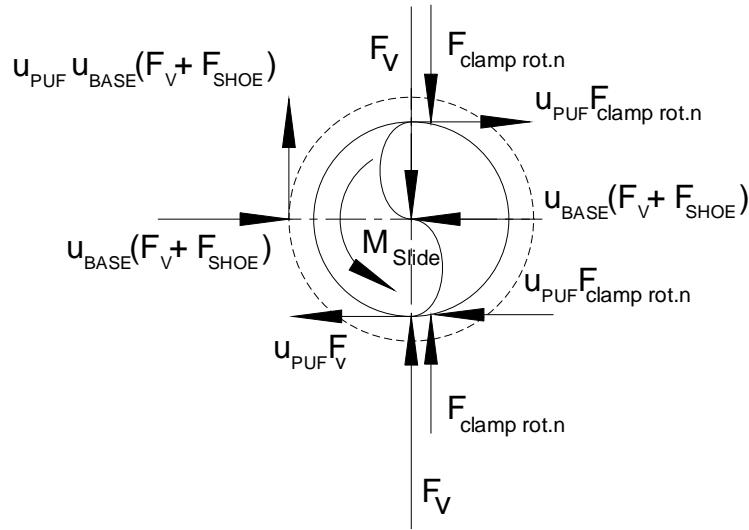
$$M_{slide} + (F_v + F_{SHOE}) 0.5W = \mu_{BASE} (F_v + F_{SHOE}) (H + 0.5 D) \quad 2$$

Karena itu, perhitungan untuk mempertahankan gaya berputar dari HD PUF isolator adalah harus klem:

$$M_{slide} = (F_v + F_{SHOE}) \{ \mu_{BASE} (H + 0.5 D) - 0.5W \} \quad 3$$

2.1 kekuatan klem dari HD PUF isolator supaya tidak berputar

gaya-gaya yang bekerja pada HD PUF isolator yang disebabkan oleh kekuatan klem dan gaya rotasi yang dikarenakan oleh pergeseran, diperlihatkan oleh gambar dibawah ini.



Gambar 2.3

Perhitungan momen di sekitar sumbu pipa diatas adalah:

$$M_{slide} = \mu_{PUF} \{ F_V + \mu_{BASE} (F_V + F_{SHOE}) \} 0.5 D + 2 \mu_{PUF} F_{clamp\ rot.n} 0.5D \quad 4$$

$$M_{Slide} = \mu_{PUF} 0.5 D \{ F_V + \mu_{BASE} (F_V + F_{SHOE}) + 2 F_{clamp\ rot.n} \} \quad 5$$

Gabungan rumus 5 dan 3

$$(F_V + F_{SHOE}) \{ \mu_{BASE} (H + 0.5 D) - 0.5 W \} = \mu_{PUF} 0.5 D \{ F_V + \mu_{BASE} (F_V + F_{SHOE}) + 2 F_{clamp\ rot.n} \}$$

$$F_{clamp\ rot.n} = F_V \{ [\mu_{BASE} (H + 0.5 D) - 0.5 W] / (\mu_{PUF} D) - 0.5 \mu_{BASE} - 0.5 \}$$

$$F_{SHOE} \{ [\mu_{BASE} (H + 0.5 D) - 0.5 W] / (\mu_{PUF} D) - 0.5 \mu_{BASE} \} \quad 6$$

Dimana:

$F_{clamp\ rot\ n}$ = gaya yang dibutuhkan untuk mencegah rotasi

F_V = gaya vertikal

F_{shoe} = berat dari pipe support

W = lebar dari dasar pipe support

D = tinggi dari sumbu pipa

μ_{base} = 0.35 untuk steel ke steel
0.1 untuk PTFE ke steel Tipe SHC5 dan SHC7
0.3 untuk PTFE ke steel Tipe SHC4 dan SHC6

μ_{PUF} = 0.25

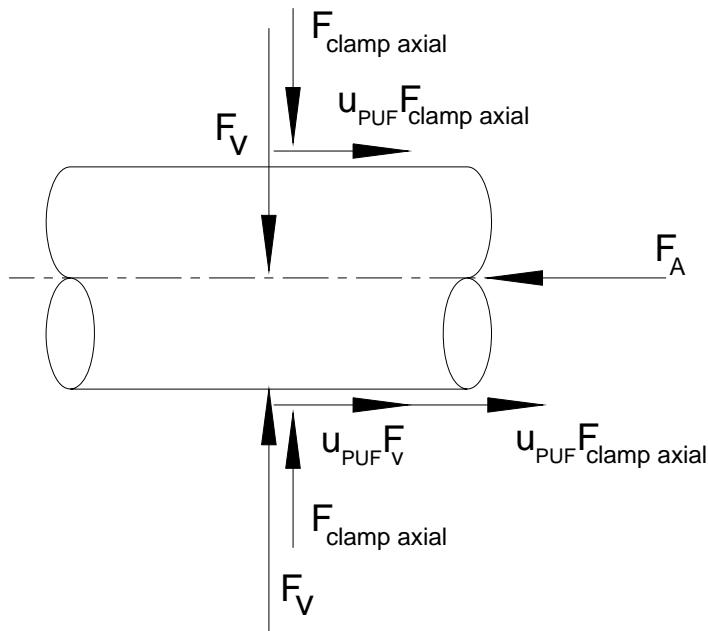
catatan:

Rumus no 6 berlaku bila $F_{clamp\ rot\ n} > 0$

bila $F_{clamp\ rot} < 0$ mengindikasikan tidak ada beban vertikal yang mencegah rotasi dari pipe support.

3. perhitungan gaya axial yang menyebabkan slip sejajar sumbu pipa

gaya-gaya yang menyebabkan HD PUF insulation slip terhadap pipa diperlihatkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.4

Dari gaya-gaya di atas dihasilkan rumus sebagai berikut.

$$F_A = \mu_{PUF} F_V + 2 \mu_{PUF} F_{\text{clamp axial}} \quad 7$$

$$F_{\text{clamp axial}} = \frac{F_A - \mu_{PUF} F_V}{2 \mu_{PUF}} \quad 8$$

$$F_A = \mu_{BASE} (F_V + F_{SHOE}) \quad 9$$

$$F_{\text{clamp axial}} = \frac{F_V (\mu_{BASE} - \mu_{PUF}) + \mu_{BASE} F_{SHOE}}{2 \mu_{PUF}}$$

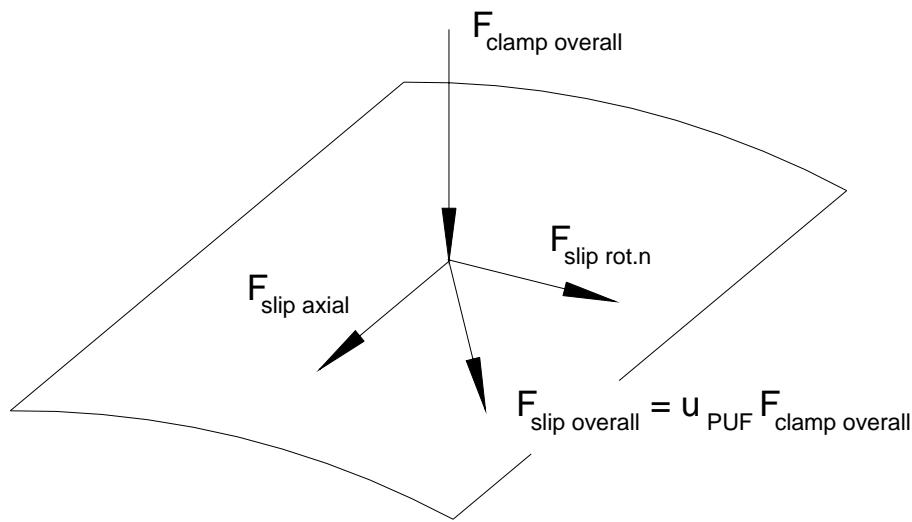
4. Gabungan gaya axial dan rotasi yang menyebabkan slip

pipa support dan insulation akan bergabung dalam melawan gaya rotasi dan sliding. Arah dari dua gaya ini adalah orthogonal yang mengakibatkan kecenderungan untuk slip, dimana dapat menyebabkan

berputarnya HD PUF insulation sepanjang pipa. Jika kekuatan klem tidak cukup.

Ketahanan untuk slip ini tergantung kepada koefisien gesek antara HD PUF insulation dan pipa.

Diagram di bawah ini mengilustrasikan konsep gabungan gaya axial dan rotasi dari kekuatan klem untuk menjaga HD PUF insulation tidak terjadi slip.



Gambar 2.5

Rumus untuk menjaga tidak terjadi slip.

$$F_{\text{slip overall}}^2 > F_{\text{slip axial}}^2 + F_{\text{slip rot.n}}^2$$

10

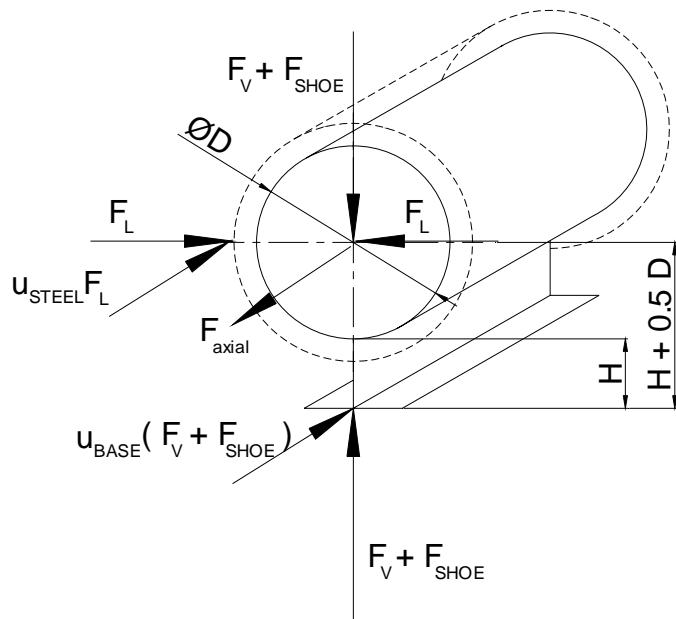
Rumus untuk kekuatan klem secara keseluruhan adalah

$$F_{\text{clamp overall}}^2 = F_{\text{clamp axial}}^2 + F_{\text{clamp rot.n}}^2$$

11

B. Guide Shoe

Gambar di bawah memperlihatkan gaya-gaya yang bekerja pada guide shoe.



Gambar 2.6

Gaya Axial, Faxial, adalah gaya yang bekerja pada sumbu pipa. Gaya axial terjadi dikarenakan oleh pengertian pipa yang disebabkan oleh suhu dan juga dikarnakan oleh pergesekan antara dasar dari guide shoe dan permukaan sliding dan juga pergesekan antara ujung base shoe dengan guide.

Gaya lateral, F_L , adalah gaya yang bekerja horizontal pada sumbu pipa.

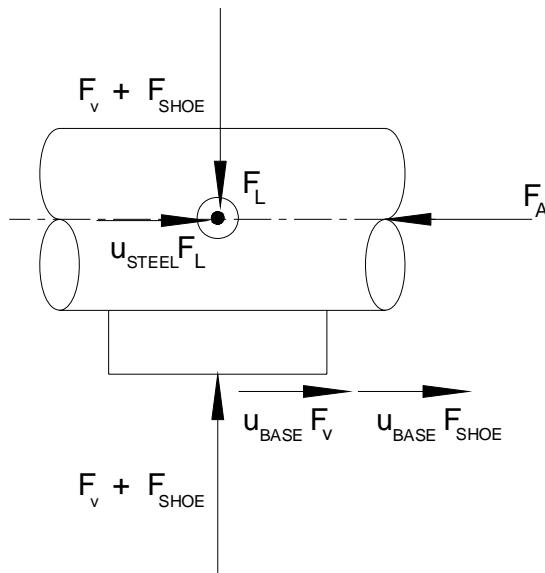
1. Gaya dorong axial

gaya klem yang dibutuhkan untuk menahan gaya axial yang dapat menyebabkan slip antara pipa dan HD PUF insulation.

Diagram dibawah ini menunjukkan gaya-gaya yang menghasilkan pergesekan antara:

- Shoe dan guide yang dapat menyebabkan tingginya gaya lateral

- b) Dasar dari shoe dan support steel dapat menyebabkan tingginya bobot dari pipa, F_v .

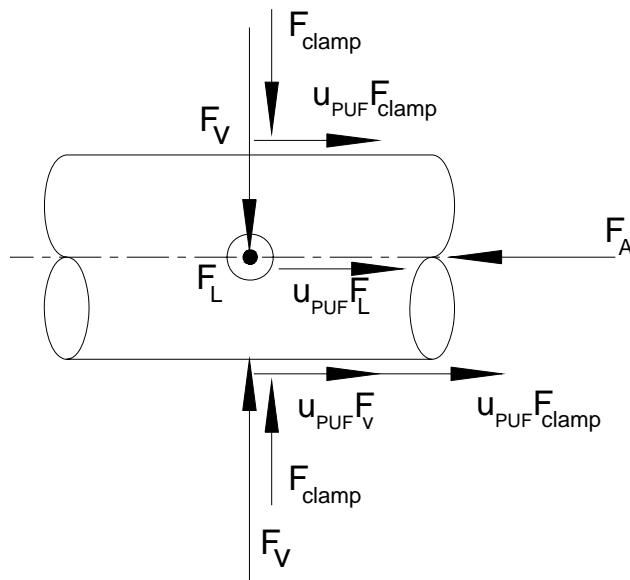


gambar 2.7

rumus gaya-gaya yang bekerja pada axial pipa.

$$F_A = \mu_{Base} (F_v + F_{SHOE}) + \mu_{steel} F_L \quad 12$$

Diagram dibawah ini memperlihatkan gaya yang bekerja pada HD PUF insulation dan pipa. Gaya gesek pada permukaan HD PUF insulation dan pipa harus lebih besar dari pada gaya yang bekerja pada pergesekan shoe dan guide dan juga shoe dan struktur.



Gambar 2.8

Rumus dari gaya-gaya axial diatas adalah

$$F_A = \mu_{PUF} F_V + \mu_{PUF} F_L + 2\mu_{PUF} F_{clamp axial} \quad 13$$

Rumus 12 menjadi

$$F_{Clamp Axial} = \frac{\mu_{BASE} (F_V + F_{shoe}) + \mu_{STEEL} F_L - \mu_{PUF} F_L - \mu_{PUF} F_V}{2\mu_{PUF}} \quad 14$$

Dimana

$F_{klem axial}$ = gaya klem untuk menjaga slip pada HD PUF insulation

F_L = gaya lateral

F_v = gaya vertikal

F_{shoe} = berat dari shoe

$\mu_{base} = 0.35$ untuk steel ke steel

0.1 untuk PTFE ke steel Tipe SHC5 dan SHC7

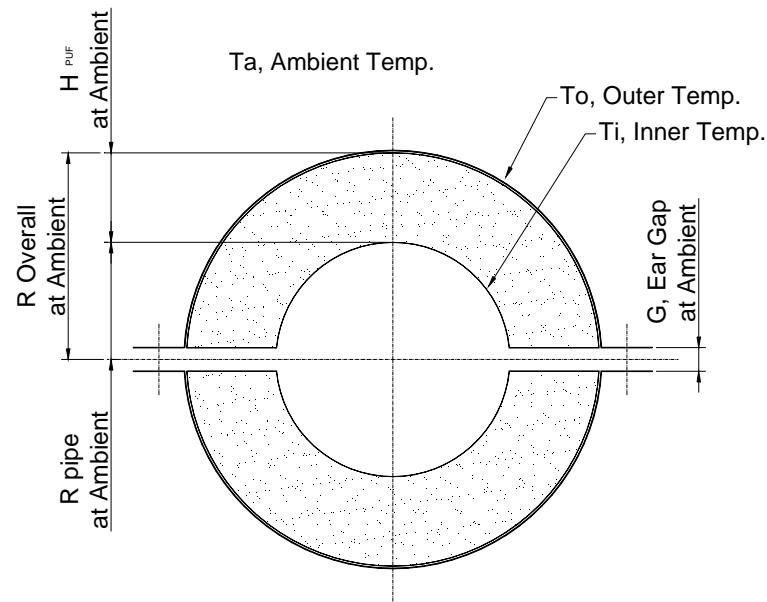
0.3 untuk PTFE ke steel Tipe SHC4 dan SHC6

$$\mu_{PUF} = 0.25$$

2.3 Pengerutan pada HD PUF insulation karena suhu

Pada bagian ini harus mempertimbangkan desain klem yang dapat menahan gaya axial dan gaya sliding antara HD PUF insulation dan pipa untuk menghindari kerusakan antara HD PUF insulation dan low density insulation.

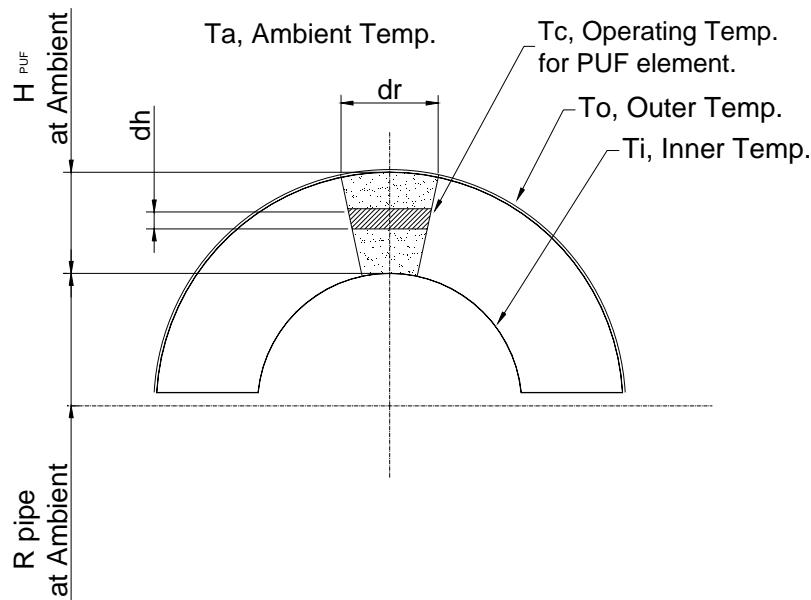
Diagram di bawah ini menunjukkan dimensi-dimensi HD PUF insulation dan klem dimana semua elemen pada saat kondisi normal.



Gambar 3.1

1. Pengerutan HD PUF insulation

Disini hanya memperlihatkan pengerutan HD PUF insulation saja. Gambar dibawah ini memperlihatkan perhitungan dari pengerutan HD PUF insulation.



Gambar 3.2

Mempertimbangkan elemen dari HD PUF insulation, tinggi radial dh pada temperatur Tc. Pengertian yang disebabkan suhu adalah

$$\varepsilon_c = \alpha \cdot (T_a - T_c) \quad 1$$

Dimana

α = Koefisien muai PUF

T_a = Suhu Lingkungan ($^{\circ}$ C)

T_c = Temperatur Cryogenic

Dan

$$\varepsilon_c = \frac{\Delta dh}{dh} \quad 2$$

Oleh karena itu:

$$\frac{\Delta dh}{dh} = \alpha \cdot (T_a - T_c) \quad 3$$

$$\Delta = \alpha \cdot (T_a - T_c) \cdot dh \quad 4$$

Penggabungan dari seluruh kontraksi pengertian pada PUF adalah

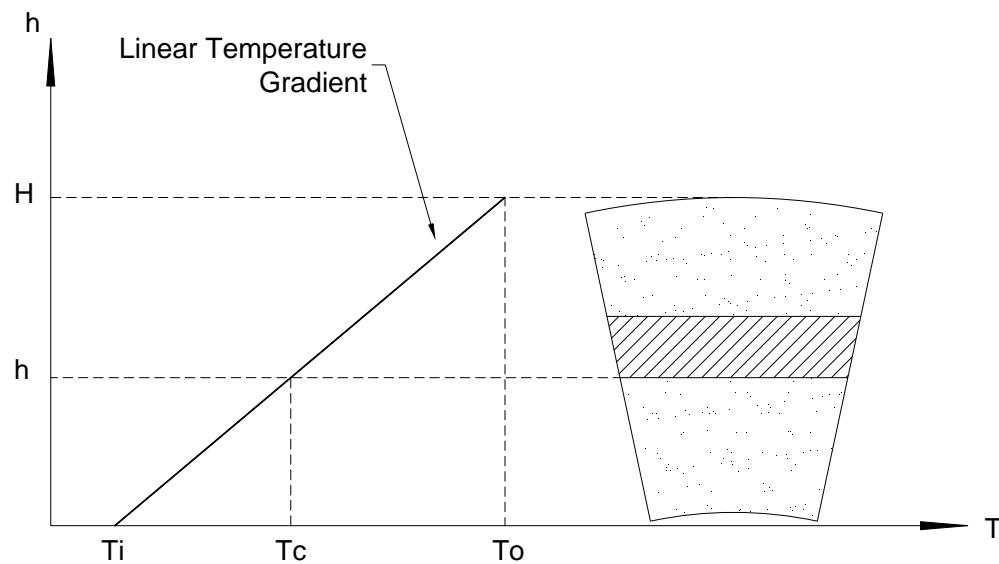
$$\Delta H = \sum \Delta dh$$

$$\Delta H = \int \alpha \cdot (T_a - T_c) dh$$

5

2. Profil temperatur sepanjang HD PUF insulation

Mempertimbangkan dari suhu T_c . Gradien temperatur sepanjang HD PUF seperti garis lurus



Gambar 3.3

Linier temperatur di atas dapat dijabarkan sebagai berikut:

$$T_c = m.h + b \quad 6$$

$$T_i = m.0 + b \quad 7$$

$$b = T_i \quad 8$$

dan

$$T_o = mH + T_i \quad 9$$

$$m = \frac{T_o - T_i}{H} \quad 10$$

Oleh karena itu:

$$T_c = \frac{(T_0 - T_i) \cdot h + T_i}{H} \quad 11$$

Atau

$$T_c = \frac{\Delta T \cdot h}{H} + T_i \quad 12$$

Dimana:

T_c = Temperatur didalam PUF pada kondisi cryogenic pada jarak “h” dari permukaan cradle (0C)

ΔT = Perbedaan temperatur antara bagian luar dengan bagian dalam dari PUF (0C)

h = Jarak radial diukur dari tepi cradle bagian dalam sampai PUF cradle (mm)

T_o = Temperatur luar Puf cradle (0C)

T_i = Temperatur dalam Puf cradle (0C)

H = Semua lapisan PUF cradle (mm)

$$\Delta H = \int \alpha \cdot (T_a - T_c) dh$$

$$\Delta H = \int \alpha \cdot (T_a - (\frac{\Delta T \cdot h}{H} + T_i)) dh$$

$$\Delta H = \int \alpha \cdot T_a dh - \int \alpha \frac{\Delta T \cdot h}{H} dh - \int \alpha T_i dh$$

$$\Delta H = \alpha \cdot T_a \cdot H - \alpha \frac{\Delta T \cdot H^2}{2H} - \alpha H T_i$$

$$\Delta H_{PUF} = \alpha_{PUF} (T_a \cdot H - \frac{\Delta T \cdot H}{2} - T_i \cdot H) \quad 13$$

Catatan:

Test laboratorium pada termal konduktivitas α_{PUF} pada density 160 kg/m³, 240 kg/m³ dan 320 kg/m³ adalah sama.

3. Pengertian kena suhu pada pipa

Pengertian pipa karena suhu adalah

$$\epsilon_{c\text{ pipe}} = \alpha_{\text{pipe}} \cdot (T_a - T_i) \quad 14$$

Oleh karena itu

$$\Delta R_{\text{pipe}} = \alpha_{\text{pipe}} \cdot (T_a - T_i) \cdot R_{\text{pipe}} \quad 15$$

4. pengkerutan keseluruhan pada pipa dan HD PUF insulation

perubahan radius karena pengkrutan adalah jumlah dari pengkerutan pipa, HD PUF insulation bagian atas dan bagian bawah.

$$\delta_{\text{cryogenic shrinkage}} = 2 \cdot \Delta R_{\text{pipe}} + 2 \cdot \Delta H_{\text{PUF}}$$

$$\delta_{\text{cryogenic shrinkage}} = 2 \cdot \alpha_{\text{PUF}} (T_a H - \frac{\Delta T \cdot H}{2} - T_i \cdot H) + 2 \cdot \alpha_{\text{pipe}} \cdot (T_a - T_i) \cdot R_{\text{pipe}} \quad 16$$

5. klem penutup

Desain klem harus dapat menjaga pengkerutan karena HD PUF insulation dan pipa. Secara umum bagian atas dan bawah klem harus seperti membran dan mengikuti bentuk pengkerutan dari pipa dan HD PUF.

2.4 Pemilihan disc spring, baut klem dan ear lug

Disc spring termasuk kedalam perhitungan klemp yang untuk menjaga HD PUF insulation dan pipa tidak terjadi pergeseran sehingga menghindari tabrakan antara HD PUF insulation dengan low density PUF insulation. Disc spring menjaga gaya klem yang dibutuhkan untuk menjaga tidak terjadi pergeseran HD PUF yang dikarenakan pengkerutan oleh pipa pada suhu cryogenik.

Perhitungan di bawah ini memperhitungkan:

- a. seleksi untuk susunan disc spring
- b. baut
- c. ear lug

A. Susunan disc spring

1. Disc spring yang digunakan

material spesifikasi spring yang digunakan adalah stainless steel.

301 SS materialnya adalah

- Maksimal 0.15% Carbon, 16%-18% Cr, dan 6%-8% Ni
- Modulus young = 212200 N/mm^2
- Tensile strength = $861 \text{ N/mm}^2 \sim 1275 \text{ N/mm}^2$

2. Spesifikasi pemilihan disc spring

disc spring yang akan dipilih berdasarkan tabel dibawah ini

ID No.	13	41	43	46
Outside Diameter (mm)	34	60	60	60
Inside Diameter (mm)	12.3	20.5	20.5	25.5
Thickness (mm)	1.25	2	3	3
Dish (mm)	1.1	2.1	1.7	1.65
Load at 25% deflection (N)	772	2,216	4,395	4,416
Movement at 25% deflection (mm)	0.275	0.523	0.427	0.411
Load at 50% deflection (N)	1,324	3,635	7,945	8,016
Movement at 50% deflection (mm)	0.55	1.05	0.85	0.82
Load at 75% deflection (N)	1,726	4,523	10,854	10,988
Movement at 75% deflection (mm)	0.823	1.57	1.28	1.23
Load at 100% deflection (N)	2,054	5,149	13,776	13,983
Movement at 100% deflection (mm)	1.1	2.1	1.7	1.65

Tabel 1.1 Spesifikasi pemilihan disc spring

3. Parameter susunan disc spring

Agar disc spring bisa bekerja dengan umur yang panjang, pabrik pembuat disc spring menyarankan untuk:

- a. Maksimum banyaknya susunan disc spring paralel = 4
- b. Maksimum banyaknya susunan disc spring series = 30
- c. Maksimum banyaknya susunan paralel dengan series adalah 20 sets
- d. Batasan defleksi yang dijaga antara 25% sampai 75 %

4. pemilihan susunan disc spring

pemilihan susunan disc spring dapat dijabarkan dengan kondisi2 sebagai berikut:

- a. Total operasi gaya klem yang ada di bagi oleh banyaknya baut pada klem. Disc spring terkecil untuk mengecek persentasi defleksi yang terjadi ketika kondisi normal ke kondisi operasi. Defleksi Disc spring yang bekerja pada kondisi normal harus kurang dari 75% total defleksi yang dianjurkan. Jika gaya pada baut melebihi dari disc spring maka pemilihan jumlah baut adalah salah.
- b. Ketika gaya defleksi melebihi gaya operasi atau normal maka ditambah ekstra susunan disc spring paralel. Jika lebih dari 4 disc spring paralel dibutuhkan, maka harus dipertimbangkan lagi ukuran yang lebih besar lagi dari disc spring.
- c. Setiap disc spring harus mempertimbangkan karakteristik gayanya untuk mengecek berapa banyak disc spring yang dibutuhkan untuk mengatasi pengerutan dari PUF dan Pipa. Jika pengkerutan dapat dicapai oleh kurang dari 30 disc spring series atau 20 parallel, maka harus dipertimbangkan lagi.
- d. Untuk semua jumlah baut, ear lug dan disc spring harus memperhitungkan efisensi biaya.

B. Pemilihan Baut

baut yang akan dipilih harus sesuai dengan diameter dalam dari disc spring.

1. Ukuran baut yang sesuai disc spring.

Dua ukuran disc spring yang akan dipakai adalah

- 34x12.3x12.5 (untuk baut dia 12mm)
- 60x20.5x2 (untuk baut dia 20mm)

2. Gaya Kerja Baut

Gaya maksimum ASTM A193 B7 untuk ukuran M12 dan M20 adalah

M12 60,696 N

M20 176,400 N

Mempertimbangkan safety factor baut maka maksimum gaya yang akan diberikan pada baut adalah 60%.

Maksimum gaya desain pada M12 = $0.6 \times 60696 = 36418$ N

Maksimum gaya desain pada M20 = $0.6 \times 176400 = 105840$ N

3. Panjang Baut

Perhitungan panjang baut berdasarkan tinggi bebas dari susunan disc spring, washer, tebal klem atau ear lug dan jarak antara ear lug atau klem.

Panjang baut = susunan disc spring pada kondisi normal + (2 x tebal washer) + (2 x tebal ear lug) + 40mm gap ear lug + (2x diameter bolt untuk nut)

C. Pemilihan ear lug

Pemilihan ear lug berdasarkan tabel ukuran dari disc spring dan gaya pada kondisi normal pada baut. kapasitas gaya dari setiap ear lug dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Ear Type	Disc Diameter	Load Capacity Newtons	Ear Description
34-12-020	34	2,000N	50x50x6 Equal Angle
34-12-035	34	3,500N	75x75x8 Equal Angle
34-12-055	34	5,500N	75x75x10 Equal Angle
34-12-070	34	7,000N	75x75x8 Equal Angle w. Gussets
60-20-180	60	18,000N	100x100x10 Equal Angle w. Gussets
60-25-440	60	44,000N	Fabricated 20mm w. Gussets

Tabel 1.2 Tipe ear lug

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Obyek Penelitian

Obyek penelitian ini adalah bagaimana menganalisa design yang akan digunakan berjalan dengan baik. Obyeknya adalah Cryogenic Pipe Support.

3.2 Metode Penelitian

Ada beberapa jenis untuk metode penelitian, misalnya:

- a. Historis
- b. Deskriptif
- c. Perkembangan
- d. Kasus dan Penelitian Lapangan
- e. Korelasional
- f. Kausal Komparatif
- g. Eksperimen Murni
- h. Eksperimen Semu

Penelitian yang dilakukan menggunakan metode kasus dan penelitian lapangan.

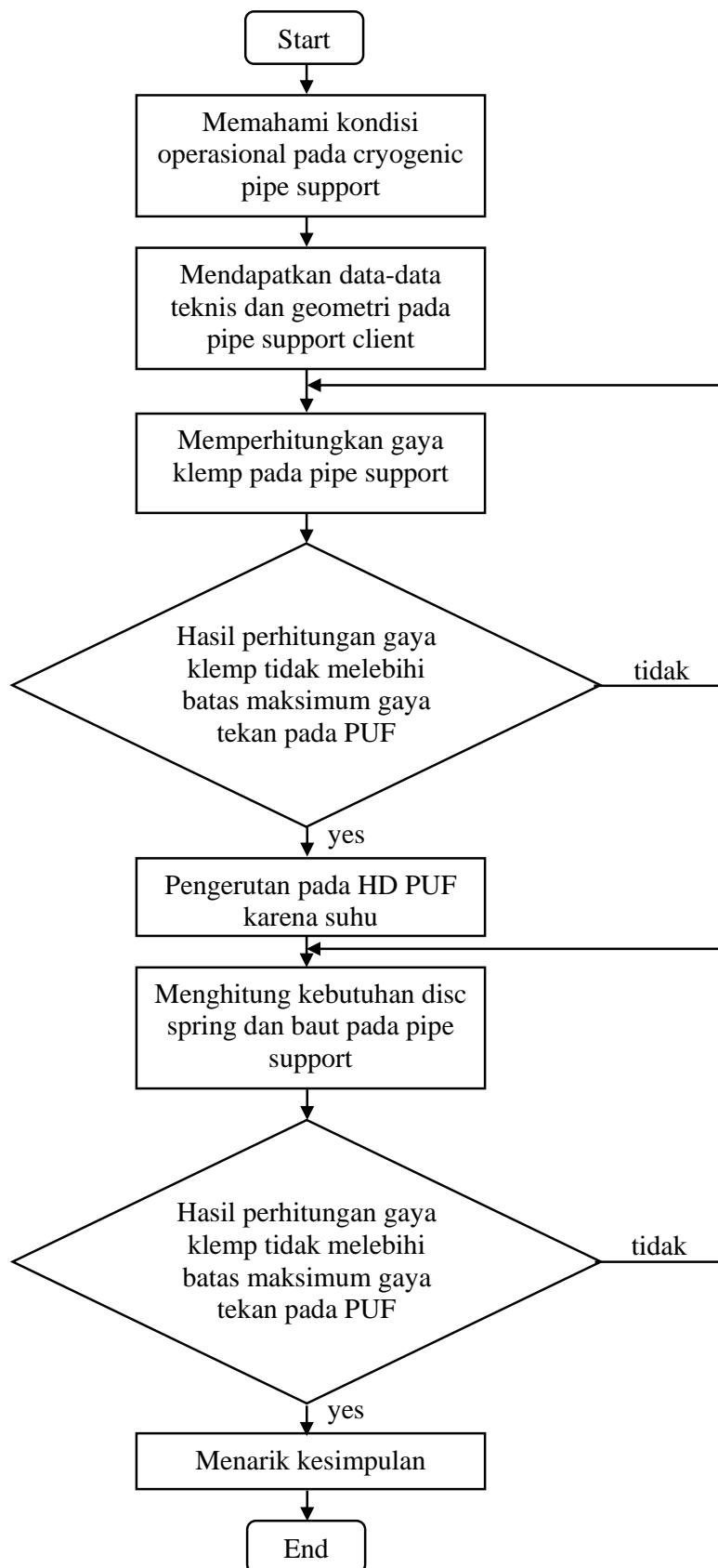
Pemilihan ini di ambil berdasarkan pertimbangan-pertimbangan berikut:

- a) Daya tarik permasalahan
- b) Kesesuaian dengan kemampuan dan latar belakang pendidikan
- c) Tersedianya alat dan kondisi kerja
- d) Kesesuaian dengan kemampuan untuk mengumpulkan data yang diperlukan.
- e) Kesesuaian dengan waktu, tenaga dan biaya
- f) Resiko kegagalan

3.3 Metode Pengumpulan Data

Karena penelitian ini adalah studi kasus dan penelitian lapangan, maka data yang diperoleh adalah data aktual yang ada pada PT BINDER INDONESIA.

3.4 Metode Analisis



BAB IV

ANALISA GAYA DAN DESAIN PADA PIPE SUPPORT

4.1 Gaya Klemp untuk HD PUF Cradles/Guides

A. Sliding Shoe

$$F_{\text{clamp rot.n}} = F_V \{ [\mu_{\text{BASE}} (H + 0.5 D) - 0.5 W] / (\mu_{\text{PUF}} D) - 0.5 \mu_{\text{BASE}} - 0.5 \}$$

$$F_{\text{SHOE}} \{ [\mu_{\text{BASE}} (H + 0.5 D) - 0.5 W] / (\mu_{\text{PUF}} D) - 0.5 \mu_{\text{BASE}} \}$$

Catatan: Persamaan di atas berlaku jika $F_{\text{clamp rot.n}} > 0$

kecuali, $F_{\text{clamp rot.n}} = 0$

$$F_{\text{clamp axial}} = \frac{F_V (\mu_{\text{BASE}} - \mu_{\text{PUF}}) + \mu_{\text{BASE}} F_{\text{SHOE}}}{2 \mu_{\text{PUF}}}$$

$$F_{\text{clamp overal}} = \sqrt{F_{\text{clamprot}}^2 + F_{\text{clampaxial}}^2}$$

Dimana

$$F_{\text{clamp rot.n}} > 0$$

Kacuali

$$F_{\text{clamp rot.n}} = 0$$

Dimana:

$F_{\text{clamp rot n}}$ = gaya yang dibutuhkan untuk mencegah rotasi

$F_{\text{klem axial}}$ = gaya klem untuk menjaga slip pada HD PUF insulation

F_A = gaya axial timbul karena gesekan pada base shoe

F_V = gaya vertikal

W = lebar dari dasar pipe support

D = tinggi dari sumbu pipa

μ_{base} = 0.35 untuk steel ke steel

0.1 untuk PTFE ke steel Tipe SHC5 dan SHC7

0.3 untuk PTFE ke steel Tipe SHC4 dan SHC6

μ_{PUF} = 0.25

B. Guide Shoe

Untuk Guide shoe, Gaya clamping diperlukan untuk melawan slip disekitar sumbu yang diberikan oleh:

$$F_{\text{Clamp Axial}} = \frac{\mu_{\text{BASE}} (F_V + F_{\text{SHOE}}) + \mu_{\text{STEEL FL}} - \mu_{\text{PUF FL}} - \mu_{\text{PUF FV}}}{2 \mu_{\text{PUF}}}$$

Dimana

$F_{\text{klem axial}}$ = gaya klem untuk menjaga slip pada HD PUF insulation

F_L = gaya lateral

F_v = gaya vertikal

F_{shoe} = berat dari shoe

μ_{base} = 0.35 untuk steel ke steel

0.1 untuk PTFE ke steel Tipe SHC5 dan SHC7

0.3 untuk PTFE ke steel Tipe SHC4 dan SHC6

μ_{PUF} = 0.25

Tabel 1.3 Desain beban-beban yang digunakan untuk gaya clamp yang diperlukan

Line Size	DN	D, Pipe Diameter	Design Load (Ton) Note 1.	F_v - Working Load (N)	FL - Lateral Load (N) Note 1.
0.5	15	21.3	0.02	196	196
0.75	20	26.7	0.03	294	294
1	25	33.4	0.04	392	392
1.5	40	42.2	0.08	785	785
2	50	60.3	0.12	1,177	1,177
3	80	88.9	0.25	2,453	2,453
4	100	114.3	0.33	3,237	3,237
6	150	168.3	0.59	5,788	5,788
8	200	219.1	1.51	14,813	14,813
10	250	273.1	1.96	19,228	19,228
12	300	323.9	3.22	31,588	31,588
14	350	355.6	3.40	33,354	33,354
16	400	406.4	5.60	54,936	54,936
18	450	457.2	5.50	53,955	53,955
20	500	508.0	5.20	51,012	51,012
22	550	558.8	11.10	108,891	108,891
24	600	609.6	11.10	108,891	108,891
26	650	660.4	11.10	108,891	108,891
28	700	711.2	11.10	108,891	108,891
30	750	762.0	18.00	176,580	176,580
32	800	812.8	14.50	142,245	142,245
34	850	863.6	15.90	155,979	155,979
36	900	914.4	17.30	169,713	169,713
38	950	965.2	13.60	133,416	133,416
40	1000	1016.0	21.50	210,915	210,915
42	1050	1066.8	23.20	227,592	227,592
44	1100	1117.6	25.00	245,250	245,250
46	1150	1168.4	26.80	262,908	262,908
48	1200	1219.2	29.90	293,319	293,319
50	1250	1270.0	22.30	218,763	218,763
52	1300	1320.8	24.00	235,440	235,440
54	1350	1371.6	34.70	340,407	340,407
56	1400	1422.4	36.80	361,008	361,008
58	1450	1473.2	29.40	288,414	288,414
60	1500	1524.0	42.10	413,001	413,001
62	1550	1574.8	42.10	413,001	413,001
64	1600	1625.6	42.10	413,001	413,001
68	1700	1727.2	42.10	413,001	413,001
70	1750	1778.0	42.10	413,001	413,001
72	1800	1828.8	42.10	413,001	413,001
80	2000	2032.0	42.10	413,001	413,001

Note :

1. Beban lateral diasumsikan sama besar seperti beban yang bekerja.

Tabel 1.4 Beban Sliding Shoe

$$F_V \{ [\mu_{BASE} (H + 0.5 D) - 0.5 W] / (\mu_{PUF} D) - 0.5 \mu_{BASE} - 0.5 \} \\ + \\ F_{SHOE} \{ [\mu_{BASE} (H + 0.5 D) - 0.5 W] / (\mu_{PUF} D) - 0.5 \mu_{BASE} \}$$

Equation 15 is valid only if $F_{clamp\ rot.n} > 0$

Otherwise, $F_{clamp\ rot.n} = 0$

$$F_{clamp\ axial} = \frac{F_V (\mu_{BASE} - \mu_{PUF}) + \mu_{BASE} F_{SHOE}}{2 \mu_{PUF}}$$

Item	Shoe Type	Tag No	Diam	Nom	D, Pipe Diameter (mm)	Insulation Thickness (mm)	F_{SHOE} (N)	F_V - Assumed Vertical Design Load (N)	F_L - Lateral Load for Guides Only (N)	μ_{PUF}	μ_{BASE}	H, Top of Steel to BOP (mm)	W, width of Shoe Base (mm)	$F_{clamp\ rot.n}$ (N)	$F_{clamp\ axial}$ (N)	$F_{clamp\ overall}$ (N)
1	SHC4	SHC4-12-160-300M	12	300	323.9	160	725.8	31,588	31,588	0.25	0.35	219	240	0	726	726
2	SHC4	SHC4-14-165-300M	14	350	355.6	165	960.5	33,354	33,354	0.25	0.35	215	300	0	7,343	7,343
3	SHC4	SHC4-16-165-300M	16	400	406.4	165	1217.8	54,936	54,936	0.25	0.35	215	300	0	11,840	11,840
4	SHC4	SHC4-16-50-300M	16	400	406.4	50	724.8	54,936	54,936	0.25	0.35	100	300	0	11,495	11,495
5	SHC4	SHC4-16-50-350M	16	400	406.4	50	810.6	54,936	54,936	0.25	0.35	100	300	0	11,555	11,555
6	SHC4	SHC4-16-50-400M	16	400	406.4	50	896.5	54,936	54,936	0.25	0.35	100	300	0	11,615	11,615
7	SHC4	SHC4-18-270-300M	18	450	457.2	270	1532.1	53,955	53,955	0.25	0.35	320	300	0	11,863	11,863
8	SHC4	SHC4-2-115-300M	2	50	60.3	115	210.2	1,177	1,177	0.25	0.35	165	120	0	383	383
9	SHC4	SHC4-24-175-400M	24	600	609.6	175	2309.1	108,891	108,891	0.25	0.35	225	420	0	23,395	23,395
10	SHC4	SHC4-26-180-500M	26	650	660.4	180	3015.8	108,891	108,891	0.25	0.35	230	420	0	23,889	23,889
11	SHC4	SHC4-28-180-400M	28	700	711.2	180	2697.9	108,891	108,891	0.25	0.35	230	420	0	23,667	23,667
12	SHC4	SHC4-30-160-500M	30	750	762	160	3122.3	176,580	176,580	0.25	0.35	210	530	0	37,502	37,502
13	SHC4	SHC4-32-185-500M	32	800	812.8	185	4265.7	142,245	142,245	0.25	0.35	235	650	0	31,435	31,435
14	SHC4	SHC4-32-185-600M	32	800	812.8	185	4947.2	142,245	142,245	0.25	0.35	235	650	0	31,912	31,912
15	SHC4	SHC4-34-160-500M	34	850	863.6	160	4166.7	155,979	155,979	0.25	0.35	210	650	0	34,113	34,113
16	SHC4	SHC4-36-185-500M	36	900	914.4	185	4703.9	169,713	169,713	0.25	0.35	235	650	0	37,235	37,235
17	SHC4	SHC4-36-285-500M	36	900	914.4	285	5395.2	169,713	169,713	0.25	0.35	335	650	0	37,719	37,719
18	SHC4	SHC4-36-285-550M	36	900	914.4	285	5829.9	169,713	169,713	0.25	0.35	335	650	0	38,024	38,024
19	SHC4	SHC4-36-285-600M	36	900	914.4	285	6264.6	169,713	169,713	0.25	0.35	335	650	0	38,328	38,328
20	SHC4	SHC4-36-285-650M	36	900	914.4	285	6699.4	169,713	169,713	0.25	0.35	335	650	0	38,632	38,632
21	SHC4	SHC4-58-50-550M	58	1450	1473.2	50	5880.0	288,414	288,414	0.25	0.35	100	1050	0	61,799	61,799
22	SHC4	SHC4-6-140-300M	6	150	168.3	140	344.9	5,788	5,788	0.25	0.35	190	300	0	1,399	1,399
23	SHC4	SHC4-64-200-600M	64	1600	1625.6	200	9223.4	413,001	413,001	0.25	0.35	267	1050	0	89,057	89,057

Tabel 1.4 Beban Sliding Shoe

$$F_V \{ [\mu_{BASE} (H + 0.5 D) - 0.5 W] / (\mu_{PUF} D) - 0.5 \mu_{BASE} - 0.5 \} \\ + \\ F_{SHOE} \{ [\mu_{BASE} (H + 0.5 D) - 0.5 W] / (\mu_{PUF} D) - 0.5 \mu_{BASE} \}$$

Equation 15 is valid only if $F_{clamp\ rot.n} > 0$

Otherwise, $F_{clamp\ rot.n} = 0$

$$F_{clamp\ axial} = \frac{F_V (\mu_{BASE} - \mu_{PUF}) + \mu_{BASE} F_{SHOE}}{2 \mu_{PUF}}$$

Item	Shoe Type	Tag No	Diam	Nom	D, Pipe Diameter (mm)	Insulation Thickness (mm)	F_{SHOE} (N)	F_V - Assumed Vertical Design Load (N)	F_L - Lateral Load for Guides Only (N)	μ_{PUF}	μ_{BASE}	H, Top of Steel to BOP (mm)	W, width of Shoe Base (mm)	$F_{clamp\ rot.n}$ (N)	$F_{clamp\ axial}$ (N)	$F_{clamp\ overall}$ (N)
24	SHC4	SHC4-64-200-700M	64	1600	1625.6	200	10554.3	413,001	413,001	0.25	0.35	267	1050	0	89,988	89,988
25	SHC4	SHC4-64-200-750M	64	1600	1625.6	200	11178.1	413,001	413,001	0.25	0.35	267	1050	0	90,425	90,425
26	SHC4	SHC4-64-200-800M	64	1600	1625.6	200	11802.0	413,001	413,001	0.25	0.35	267	1050	0	90,862	90,862
37	SHC6	SHC6-16-165-300M	16	400	406.4	165	1359.9	54,936	54,936	0.25	0.35	215	300	0	11,939	11,939
38	SHC6	SHC6-16-50-300M	16	400	406.4	50	864.5	54,936	54,936	0.25	0.35	100	300	0	11,592	11,592
39	SHC6	SHC6-16-50-350M	16	400	406.4	50	972.2	54,936	54,936	0.25	0.35	100	300	0	11,668	11,668
40	SHC6	SHC6-16-50-400M	16	400	406.4	50	1177.8	54,936	54,936	0.25	0.35	100	300	0	11,812	11,812
41	SHC6	SHC6-16-50-450M	16	400	406.4	50	1285.5	54,936	54,936	0.25	0.35	100	300	0	11,887	11,887
42	SHC6	SHC6-24-175-400M	24	600	609.6	175	2323.7	108,891	108,891	0.25	0.35	225	420	0	23,405	23,405
43	SHC6	SHC6-26-180-500M	26	650	660.4	180	3617.1	108,891	108,891	0.25	0.35	230	420	0	24,310	24,310
44	SHC6	SHC6-32-185-500M	32	800	812.8	185	5112.3	142,245	142,245	0.25	0.35	235	650	0	32,028	32,028
45	SHC6	SHC6-34-160-500M	34	850	863.6	160	4991.2	155,979	155,979	0.25	0.35	210	650	0	34,690	34,690
46	SHC6	SHC6-36-185-500M	36	900	914.4	185	5698.0	169,713	169,713	0.25	0.35	235	650	0	37,931	37,931
47	SHC6	SHC6-36-285-500M	36	900	914.4	285	6467.5	169,713	169,713	0.25	0.35	335	650	0	38,470	38,470
48	SHC6	SHC6-36-285-600M	36	900	914.4	285	7505.7	169,713	169,713	0.25	0.35	335	650	0	39,197	39,197
49	SHC6	SHC6-36-285-650M	36	900	914.4	285	8024.8	169,713	169,713	0.25	0.35	335	650	0	39,560	39,560
50	SHC6	SHC6-58-50-550M	58	1450	1473.2	50	6916.0	288,414	288,414	0.25	0.35	100	1050	0	62,524	62,524
51	SHC6	SHC6-6-140-300M	6	150	168.3	140	395.3	5,788	5,788	0.25	0.35	190	300	0	1,434	1,434
52	SHC6	SHC6-64-200-600M	64	1600	1625.6	200	10956.5	413,001	413,001	0.25	0.35	260	1050	0	90,270	90,270
53	SHC6	SHC6-64-200-650M	64	1600	1625.6	200	11687.9	413,001	413,001	0.25	0.35	260	1050	0	90,782	90,782
54	SHC6	SHC6-64-200-700M	64	1600	1625.6	200	12419.3	413,001	413,001	0.25	0.35	260	1050	0	91,294	91,294
55	SHC6	SHC6-64-200-750M	64	1600	1625.6	200	13150.7	413,001	413,001	0.25	0.35	260	1050	0	91,806	91,806
56	SHC6	SHC6-64-200-800M	64	1600	1625.6	200	13882.1	413,001	413,001	0.25	0.35	260	1050	0	92,318	92,318

Tabel 1.4 Beban Sliding Shoe

$$F_V \{ [\mu_{BASE} (H + 0.5 D) - 0.5 W] / (\mu_{PUF} D) - 0.5 \mu_{BASE} - 0.5 \}$$

+

$$F_{SHOE} \{ [\mu_{BASE} (H + 0.5 D) - 0.5 W] / (\mu_{PUF} D) - 0.5 \mu_{BASE} \}$$

Equation 15 is valid only if $F_{clamp\ rot.n} > 0$

Otherwise, $F_{clamp\ rot.n} = 0$

$$F_{clamp\ axial} = \frac{F_V (\mu_{BASE} - \mu_{PUF}) + \mu_{BASE} F_{SHOE}}{2 \mu_{PUF}}$$

Item	Shoe Type	Tag No	Diam	Nom	D, Pipe Diameter (mm)	Insulation Thickness (mm)	F_{SHOE} (N)	F_V - Assumed Vertical Design Load (N)	F_L - Lateral Load for Guides Only (N)	μ_{PUF}	μ_{BASE}	H, Top of Steel to BOP (mm)	W, width of Shoe Base (mm)	$F_{clamp\ rot.n}$ (N)	$F_{clamp\ axial}$ (N)	$F_{clamp\ overall}$ (N)
57	SHC6	SHC6-64-200-850M	64	1600	1625.6	200	14613.5	413,001	413,001	0.25	0.35	260	1050	0	92,830	92,830

Tabel 1.5 Beban Guide Shoe- Case 1 Non Zero Vertical Load

$$F_{\text{Clamp Axial}} = \frac{\mu_{\text{BASE}} (F_V + F_{\text{SHOE}}) + \mu_{\text{STEEL}} F_L - \mu_{\text{PUF}} F_L - \mu_{\text{PUF}} F_V}{2 \mu_{\text{PUF}}}$$

Where

 $F_{\text{clamp axial}}$ = Clamp force to prevent slippage of PUF cradle F_L = Lateral Guide Force F_V = Vertical Working Load F_{SHOE} = Self weight of shoe $\mu_{\text{BASE}} = 0.35$ for Steel on Steel

0.1 for PTFE on Steel

 $\mu_{\text{PUF}} = 0.25$ (deduced from ambient incline plane tests)

Item	Shoe Type	Tag No	Diam	Nom	D, Pipe Diameter (mm)	Insulation Thickness (mm)	F_{SHOE} (N)	F_V - Assumed Vertical Design Load (N)	F_L - Lateral Load for Guides Only (N)	μ_{PUF}	μ_{BASE}	μ_{STEEL}	$F_{\text{clamp rot.n}}$ (N)	$F_{\text{clamp axial}}$ (N)	$F_{\text{clamp overall}}$ (N)
27	SHC5	SHC5-12-160-300M	12	300	323.9	160	874.4	31,588	31,588	0.25	0.1	0.35	0	0	0
28	SHC5	SHC5-14-165-300M	14	350	355.6	165	1146.0	33,354	33,354	0.25	0.1	0.35	0	0	0
29	SHC5	SHC5-16-165-300M	16	400	406.4	165	1347.0	54,936	54,936	0.25	0.1	0.35	0	0	0
30	SHC5	SHC5-24-175-400M	24	600	609.6	175	2304.8	108,891	108,891	0.25	0.1	0.35	0	0	0
31	SHC5	SHC5-28-180-400M	28	700	711.2	180	3237.1	108,891	108,891	0.25	0.1	0.35	0	0	0
32	SHC5	SHC5-32-185-500M	32	800	812.8	185	5223.4	142,245	142,245	0.25	0.1	0.35	0	0	0
33	SHC5	SHC5-32-185-600M	32	800	812.8	185	6037.9	142,245	142,245	0.25	0.1	0.35	0	0	0
34	SHC5	SHC5-36-185-500M	36	900	914.4	185	5846.6	169,713	169,713	0.25	0.1	0.35	0	0	0
35	SHC5	SHC5-36-285-500M	36	900	914.4	285	6417.1	169,713	169,713	0.25	0.1	0.35	0	0	0
36	SHC5	SHC5-6-140-300M	6	150	168.3	140	378.1	5,788	5,788	0.25	0.1	0.35	0	0	0
58	SHC7	SHC7-16-165-300M	16	400	406.4	165	1460.1	54,936	54,936	0.25	0.1	0.35	0	0	0
59	SHC7	SHC7-26-180-500M	26	650	660.4	180	4013.2	108,891	108,891	0.25	0.1	0.35	0	0	0
60	SHC7	SHC7-28-180-400M	28	700	711.2	180	3510.8	108,891	108,891	0.25	0.1	0.35	0	0	0
61	SHC7	SHC7-36-185-500M	36	900	914.4	185	6540.2	169,713	169,713	0.25	0.1	0.35	0	0	0

Tabel 1.6 Beban Guide Shoe- Case 2 Zero Concident Vertical Load

$$F_{\text{Clamp Axial}} = \frac{\mu_{\text{BASE}} (F_V + F_{\text{SHOE}}) + \mu_{\text{STEEL}} F_L - \mu_{\text{PUF}} F_L - \mu_{\text{PUF}} F_V}{2 \mu_{\text{PUF}}}$$

Where

 $F_{\text{clamp axial}}$ = Clamp force to prevent slippage of PUF cradle

 F_L = Lateral Guide Force

 F_V = Vertical Working Load - set to zero to consider the case of thermal bowing

 F_{SHOE} = Self weight of shoe

 $\mu_{\text{BASE}} = 0.35$ for Steel on Steel

0.1 for PTFE on Steel

 $\mu_{\text{PUF}} = 0.25$ (deduced from ambient incline plane tests)

Item	Shoe Type	Tag No	Diam	Nom	D, Pipe Diameter	Total Thk	F_{SHOE} (N)	F_V - Assumed Vertical Design Load (N)	F_L - Lateral Load for Guides Only (N)	μ_{PUF}	μ_{BASE}	μ_{STEEL}	$F_{\text{clamp rot.n}}$ (N)	$F_{\text{clamp axial}}$ (N)	$F_{\text{clamp overall}}$ (N)
27	SHC5	SHC5-12-160-300M	12	300	323.9	160	874.4	0	31,588	0.25	0.1	0.35	0	6,493	6,493
28	SHC5	SHC5-14-165-300M	14	350	355.6	165	1146.0	0	33,354	0.25	0.1	0.35	0	6,900	6,900
29	SHC5	SHC5-16-165-300M	16	400	406.4	165	1347.0	0	54,936	0.25	0.1	0.35	0	11,257	11,257
30	SHC5	SHC5-24-175-400M	24	600	609.6	175	2304.8	0	108,891	0.25	0.1	0.35	0	22,239	22,239
31	SHC5	SHC5-28-180-400M	28	700	711.2	180	3237.1	0	108,891	0.25	0.1	0.35	0	22,426	22,426
32	SHC5	SHC5-32-185-500M	32	800	812.8	185	5223.4	0	142,245	0.25	0.1	0.35	0	29,494	29,494
33	SHC5	SHC5-32-185-600M	32	800	812.8	185	6037.9	0	142,245	0.25	0.1	0.35	0	29,657	29,657
34	SHC5	SHC5-36-185-500M	36	900	914.4	185	5846.6	0	169,713	0.25	0.1	0.35	0	35,112	35,112
35	SHC5	SHC5-36-285-500M	36	900	914.4	285	6417.1	0	169,713	0.25	0.1	0.35	0	35,226	35,226
36	SHC5	SHC5-6-140-300M	6	150	168.3	140	378.1	0	5,788	0.25	0.1	0.35	0	1,233	1,233
58	SHC7	SHC7-16-165-300M	16	400	406.4	165	1460.1	0	54,936	0.25	0.1	0.35	0	11,279	11,279
59	SHC7	SHC7-26-180-500M	26	650	660.4	180	4013.2	0	108,891	0.25	0.1	0.35	0	22,581	22,581
60	SHC7	SHC7-28-180-400M	28	700	711.2	180	3510.8	0	108,891	0.25	0.1	0.35	0	22,480	22,480
61	SHC7	SHC7-36-185-500M	36	900	914.4	185	6540.2	0	169,713	0.25	0.1	0.35	0	35,251	35,251

Tabel 1.7 Desain Beban Clamp

Item	Shoe Type	Tag No	Diam	Nom	D, Pipe Diameter	Total Thk	F_{SHOE} (N)	F_v - Assumed Vertical Design Load (N)	F_L - Lateral Load for Guides Only (N)	μ_{PUF}	μ_{BASE}	μ_{STEEL}	DESIGN CLAMP FORCE $F_{clamp\ overall}$ (N)
1	SHC4	SHC4-12-160-300M	12	300	323.9	160	724.0	31,588	31,588	0.25	0.30	0.35	726
2	SHC4	SHC4-14-165-300M	14	350	355.6	165	909.9	33,354	33,354	0.25	0.30	0.35	7343
3	SHC4	SHC4-16-165-300M	16	400	406.4	165	1217.8	54,936	54,936	0.25	0.30	0.35	11840
4	SHC4	SHC4-16-50-300M	16	400	406.4	50	724.8	54,936	54,936	0.25	0.30	0.35	11495
5	SHC4	SHC4-16-50-350M	16	400	406.4	50	810.6	54,936	54,936	0.25	0.30	0.35	11555
6	SHC4	SHC4-16-50-400M	16	400	406.4	50	896.5	54,936	54,936	0.25	0.30	0.35	11615
7	SHC4	SHC4-18-270-300M	18	450	457.2	270	1532.1	53,955	53,955	0.25	0.30	0.35	11863
8	SHC4	SHC4-2-115-300M	2	50	60.3	115	210.2	1,177	1,177	0.25	0.30	0.35	383
9	SHC4	SHC4-24-175-400M	24	600	609.6	175	2075.6	108,891	108,891	0.25	0.30	0.35	23395
10	SHC4	SHC4-26-180-500M	26	650	660.4	180	3015.8	108,891	108,891	0.25	0.30	0.35	23889
11	SHC4	SHC4-28-180-400M	28	700	711.2	180	2697.9	108,891	108,891	0.25	0.30	0.35	23667
12	SHC4	SHC4-30-160-500M	30	750	762	160	3122.3	176,580	176,580	0.25	0.30	0.35	37502
13	SHC4	SHC4-32-185-500M	32	800	812.8	185	4265.7	142,245	142,245	0.25	0.30	0.35	31435
14	SHC4	SHC4-32-185-600M	32	800	812.8	185	4947.2	142,245	142,245	0.25	0.30	0.35	31912
15	SHC4	SHC4-34-160-500M	34	850	863.6	160	4166.7	155,979	155,979	0.25	0.30	0.35	34113
16	SHC4	SHC4-36-185-500M	36	900	914.4	185	4703.9	169,713	169,713	0.25	0.30	0.35	37235
17	SHC4	SHC4-36-285-500M	36	900	914.4	285	5395.2	169,713	169,713	0.25	0.30	0.35	37719
18	SHC4	SHC4-36-285-550M	36	900	914.4	285	5829.9	169,713	169,713	0.25	0.30	0.35	38024
19	SHC4	SHC4-36-285-600M	36	900	914.4	285	6264.6	169,713	169,713	0.25	0.30	0.35	38328
20	SHC4	SHC4-36-285-650M	36	900	914.4	285	6699.4	169,713	169,713	0.25	0.30	0.35	38632
21	SHC4	SHC4-58-50-550M	58	1450	1473.2	50	5880.0	288,414	288,414	0.25	0.30	0.35	61799
22	SHC4	SHC4-6-140-300M	6	150	168.3	140	344.9	5,788	5,788	0.25	0.30	0.35	1399
23	SHC4	SHC4-64-200-600M	64	1600	1625.6	200	9223.4	413,001	413,001	0.25	0.30	0.35	89057
24	SHC4	SHC4-64-200-700M	64	1600	1625.6	200	10554.3	413,001	413,001	0.25	0.30	0.35	89988
25	SHC4	SHC4-64-200-750M	64	1600	1625.6	200	11178.1	413,001	413,001	0.25	0.30	0.35	90425
26	SHC4	SHC4-64-200-800M	64	1600	1625.6	200	11802.0	413,001	413,001	0.25	0.30	0.35	90862
27	SHC5	SHC5-12-160-300M	12	300	323.9	160	874.4	31,588	31,588	0.25	0.10	0.35	6493
28	SHC5	SHC5-14-165-300M	14	350	355.6	165	1146.0	33,354	33,354	0.25	0.10	0.35	6900
29	SHC5	SHC5-16-165-300M	16	400	406.4	165	1347.0	54,936	54,936	0.25	0.10	0.35	11257
30	SHC5	SHC5-24-175-400M	24	600	609.6	175	2304.8	108,891	108,891	0.25	0.10	0.35	22239
31	SHC5	SHC5-28-180-400M	28	700	711.2	180	3237.1	108,891	108,891	0.25	0.10	0.35	22426
32	SHC5	SHC5-32-185-500M	32	800	812.8	185	5223.4	142,245	142,245	0.25	0.10	0.35	29494
33	SHC5	SHC5-32-185-600M	32	800	812.8	185	6037.9	142,245	142,245	0.25	0.10	0.35	29657
34	SHC5	SHC5-36-185-500M	36	900	914.4	185	5846.6	169,713	169,713	0.25	0.10	0.35	35112
35	SHC5	SHC5-36-285-500M	36	900	914.4	285	6417.1	169,713	169,713	0.25	0.10	0.35	35226
36	SHC5	SHC5-6-140-300M	6	150	168.3	140	378.1	5,788	5,788	0.25	0.30	0.35	1233
37	SHC6	SHC6-16-165-300M	16	400	406.4	165	1359.9	54,936	54,936	0.25	0.30	0.35	11939
38	SHC6	SHC6-16-50-300M	16	400	406.4	50	864.5	54,936	54,936	0.25	0.30	0.35	11592
39	SHC6	SHC6-16-50-350M	16	400	406.4	50	972.2	54,936	54,936	0.25	0.30	0.35	11668
40	SHC6	SHC6-16-50-400M	16	400	406.4	50	1177.8	54,936	54,936	0.25	0.30	0.35	11812
41	SHC6	SHC6-16-50-450M	16	400	406.4	50	1285.5	54,936	54,936	0.25	0.30	0.35	11887
42	SHC6	SHC6-24-175-400M	24	600	609.6	175	2323.7	108,891	108,891	0.25	0.30	0.35	23405
43	SHC6	SHC6-26-180-500M	26	650	660.4	180	3617.1	108,891	108,891	0.25	0.30	0.35	24310
44	SHC6	SHC6-32-185-500M	32	800	812.8	185	5112.3	142,245	142,245	0.25	0.30	0.35	32028
45	SHC6	SHC6-34-160-500M	34	850	863.6	160	4991.2	155,979	155,979	0.25	0.30	0.35	34690
46	SHC6	SHC6-36-185-500M	36	900	914.4	185	5698.0	169,713	169,713	0.25	0.30	0.35	37931
47	SHC6	SHC6-36-285-500M	36	900	914.4	285	6467.5	169,713	169,713	0.25	0.30	0.35	38470
48	SHC6	SHC6-36-285-600M	36	900	914.4	285	7505.7	169,713	169,713	0.25	0.30	0.35	39197
49	SHC6	SHC6-36-285-650M	36	900	914.4	285	8024.8	169,713	169,713	0.25	0.30	0.35	39560
50	SHC6	SHC6-58-50-550M	58	1450	1473.2	50	6916.0	288,414	288,414	0.25	0.30	0.35	62524
51	SHC6	SHC6-6-140-300M	6	150	168.3	140	395.3	5,788	5,788	0.25	0.30	0.35	1434
52	SHC6	SHC6-64-200-600M	64	1600	1625.6	200	10956.5	413,001	413,001	0.25	0.30	0.35	90270
53	SHC6	SHC6-64-200-650M	64	1600	1625.6	200	11687.9	413,001	413,001	0.25	0.30	0.35	90782
54	SHC6	SHC6-64-200-700M	64	1600	1625.6	200	12419.3	413,001	413,001	0.25	0.30	0.35	91294
55	SHC6	SHC6-64-200-750M	64	1600	1625.6	200	13150.7	413,001	413,001	0.25	0.30	0.35	91806
56	SHC6	SHC6-64-200-800M	64	1600	1625.6	200	13882.1	413,001	413,001	0.25	0.30	0.35	92318

Tabel 1.7 Desain Beban Clamp

Item	Shoe Type	Tag No	Diam	Nom	D, Pipe Diameter	Total Thk	F_{SHOE} (N)	F_v - Assumed Vertical Design Load (N)	F_L - Lateral Load for Guides Only (N)	μ_{PUF}	μ_{BASE}	μ_{STEEL}	DESIGN CLAMP FORCE $F_{clamp\ overall}$ (N)
57	SHC6	SHC6-64-200-850M	64	1600	1625.6	200	14613.5	413,001	413,001	0.25	0.30	0.35	92830
58	SHC7	SHC7-16-165-300M	16	400	406.4	165	1460.1	54,936	54,936	0.25	0.10	0.35	11279
59	SHC7	SHC7-26-180-500M	26	650	660.4	180	4013.2	108,891	108,891	0.25	0.10	0.35	22581
60	SHC7	SHC7-28-180-400M	28	700	711.2	180	3510.8	108,891	108,891	0.25	0.10	0.35	22480
61	SHC7	SHC7-36-185-500M	36	900	914.4	185	6540.2	169,713	169,713	0.25	0.10	0.35	35251

Tabel 1.8 Kaitan Tekanan Kompresi dengan Beban Bearing - Vertikal dan Axial

$$\sigma_{\text{bearing inner face}} = 6 F / \{ \pi D (L + 150) \}$$

$$\sigma_{\text{bearing outer face}} = 6 F / \{ \pi (D + 2 T) L \}$$

Item	Tag No	Nom	D, Pipe Diameter	Insul'n Density (kg/m3)	Insul Thk (mm)	Shoe Lth	Pipe Wt Fv (N)	Load Lat'l Fl (N)	Resultant Fb (N)	$\sigma_{\text{bearing inner face}}$ (MPa)	$\sigma_{\text{bearing outer face}}$ (MPa)
27	SHC5-12-160-300M	300	323.9	320	160	300	31588	31588	44,672	-0.585	-0.442
28	SHC5-14-165-300M	350	355.6	320	165	300	33354	33354	47,170	-0.563	-0.438
29	SHC5-16-165-300M	400	406.4	320	165	300	54936	54936	77,691	-0.811	-0.672
30	SHC5-24-175-400M	600	609.6	320	175	400	108891	108891	153,995	-0.877	-0.766
31	SHC5-28-180-400M	700	711.2	320	180	400	108891	108891	153,995	-0.752	-0.686
32	SHC5-32-185-500M	800	812.8	320	185	500	142245	142245	201,165	-0.727	-0.650
33	SHC5-32-185-600M	800	812.8	320	185	600	142245	142245	201,165	-0.630	-0.541
34	SHC5-36-185-500M	900	914.4	320	185	500	169713	169713	240,010	-0.771	-0.714
35	SHC5-36-285-500M	900	914.4	320	285	500	169713	169713	240,010	-0.771	-0.618
36	SHC5-6-140-300M	150	168.3	160	140	300	5788	5788	8,185	-0.206	-0.116
58	SHC7-16-165-300M	400	406.4	320	165	300	54936	54936	77,691	-0.811	-0.672
59	SHC7-26-180-500M	650	660.4	320	180	500	108891	108891	153,995	-0.685	-0.576
60	SHC7-28-180-400M	700	711.2	320	180	400	108891	108891	153,995	-0.752	-0.686
61	SHC7-36-185-500M	900	914.4	320	185	500	169713	169713	240,010	-0.771	-0.714

Tabel 1.9 Gaya Clamp yang Diizinkan

$$\sigma_{\text{clamp max}} = \sigma_{\text{allowable}} - \sigma_{\text{bearing}}$$

For the inner surface :

$$F_{\text{CLAMP}} = \sigma_{\text{CLAMP MAX INNER}} \{ \pi D (L + 150) \} / 6$$

For the outer surface :

$$F_{\text{CLAMP}} = \sigma_{\text{CLAMP MAX OUTER}} \{ \pi (D + 2T) L \} / 6$$

Item	Tag No	Nom	D, Pipe Diameter	Insul'n Density (kg/m3)	Insul Thk (mm)	Shoe Length (mm)	Max permissible Stress (MPa)	σ bearing inner face (MPa)	σ bearing outer face (MPa)	$\sigma_{\text{CLAMP MAX INNER}}$	$\sigma_{\text{CLAMP MAX OUTER}}$	$F_{\text{CLAMP INNER}}$ (N)	$F_{\text{CLAMP OUTER}}$ (N)	$F_{\text{CLAMP MAX}}$ (N)
27	SHC5-12-160-300M	300	323.9	320	160	300	-1.8	-0.585	-0.442	-1.215	-1.358	92,698	137,386	92,698
28	SHC5-14-165-300M	350	355.6	320	165	300	-1.8	-0.563	-0.438	-1.237	-1.362	103,646	146,679	103,646
29	SHC5-16-165-300M	400	406.4	320	165	300	-1.8	-0.811	-0.672	-0.989	-1.128	94,669	130,521	94,669
30	SHC5-24-175-400M	600	609.6	320	175	400	-1.8	-0.877	-0.766	-0.923	-1.034	161,999	207,766	161,999
31	SHC5-28-180-400M	700	711.2	320	180	400	-1.8	-0.752	-0.686	-1.048	-1.114	214,664	249,838	214,664
32	SHC5-32-185-500M	800	812.8	320	185	500	-1.8	-0.727	-0.650	-1.073	-1.150	296,765	356,217	296,765
33	SHC5-32-185-600M	800	812.8	320	185	600	-1.8	-0.630	-0.541	-1.170	-1.259	373,370	467,693	373,370
34	SHC5-36-185-500M	900	914.4	320	185	500	-1.8	-0.771	-0.714	-1.029	-1.086	320,161	365,249	320,161
35	SHC5-36-285-500M	900	914.4	320	285	500	-1.8	-0.771	-0.618	-1.029	-1.182	320,161	459,497	320,161
36	SHC5-6-140-300M	150	168.3	160	140	300	-0.735	-0.206	-0.116	-0.529	-0.619	20,961	43,572	20,961
58	SHC7-16-165-300M	400	406.4	320	165	300	-1.8	-0.811	-0.672	-0.989	-1.128	94,669	130,521	94,669
59	SHC7-26-180-500M	650	660.4	320	180	500	-1.8	-0.685	-0.576	-1.115	-1.224	250,573	326,857	250,573
60	SHC7-28-180-400M	700	711.2	320	180	400	-1.8	-0.752	-0.686	-1.048	-1.114	214,664	249,838	214,664
61	SHC7-36-185-500M	900	914.4	320	185	500	-1.8	-0.771	-0.714	-1.029	-1.086	320,161	365,249	320,161

4.2 Pengertian pada HD PUF insulation karena suhu

1. Pengertian HD PUF insulation

$$\varepsilon_c = \alpha \cdot (T_a - T_c)$$

Dimana

α = Koefisien muai PUF

T_a = Suhu Lingkungan (0C)

T_c = Temperatur Cryogenic

Dan

$$\varepsilon_c = \frac{\Delta dh}{dh}$$

Oleh karena itu:

$$\frac{\Delta dh}{dh} = \alpha \cdot (T_a - T_c)$$

$$\Delta = \alpha \cdot (T_a - T_c) dh$$

Penggabungan dari seluruh kontraksi pengertian pada PUF adalah

$$\Delta H = \sum \Delta dh$$

$$\Delta H = \int \alpha \cdot (T_a - T_c) dh$$

2. Profil temperatur sepanjang HD PUF insulation

$$T_c = m \cdot h + b$$

$$T_i = m \cdot 0 + b$$

$$b = T_i$$

dan

$$T_0 = mH + T_i$$

$$m = \frac{T_0 - T_i}{H}$$

Oleh karena itu:

$$T_c = \frac{(T_0 - T_i) \cdot h + T_i}{H}$$

Atau

$$T_c = \frac{\Delta T \cdot h}{H} + T_i$$

Dimana:

T_c = Temperatur didalam PUF pada kondisi cryogenic pada jarak “h” dari permukaan cradle (^0C)

ΔT = Perbedaan temperatur antara bagian luar dengan bagian dalam dari PUF (^0C)

h = Jarak radial diukur dari tepi cradle bagian dalam sampai PUF cradle (mm)

T_o = Temperatur luar Puf cradle (^0C)

T_i = Temperatur dalam Puf cradle (^0C)

H = Semua lapisan PUF cradle (mm)

$$\Delta H = \int \alpha \cdot (T_a - T_c) dh$$

$$\Delta H = \int \alpha \cdot (T_a - (\frac{\Delta T \cdot h}{H} + T_i)) dh$$

$$\Delta H = \int \alpha \cdot T_a dh - \int \alpha \frac{\Delta T \cdot h}{H} dh - \int \alpha T_i dh$$

$$\Delta H = \alpha \cdot T_a H - \alpha \frac{\Delta T \cdot H^2}{2H} - \alpha H T_i$$

$$\Delta H_{PUF} = \alpha_{PUF} (T_a H - \frac{\Delta T \cdot H}{2} - T_i \cdot H)$$

3. Pengertian kena suhu pada pipa

$$\varepsilon_{c\text{ pipe}} = \alpha_{\text{pipe}} \cdot (T_a - T_i)$$

Oleh karena itu

$$\Delta R_{\text{pipe}} = \alpha_{\text{pipe}} \cdot (T_a - T_i) \cdot R_{\text{pipe}}$$

4. pengkerutan keseluruhan pada pipa dan HD PUF insulation

$$\delta_{\text{cryogenic shrinkage}} = 2 \cdot \Delta R_{\text{pipe}} + 2 \cdot \Delta H_{PUF}$$

$$\delta_{\text{cryogenic shrinkage}} = 2 \cdot \alpha_{PUF} (T_a H - \frac{\Delta T \cdot H}{2} - T_i \cdot H) + 2 \cdot \alpha_{\text{pipe}} \cdot (T_a - T_i) \cdot R_{\text{pipe}}$$

Tabel 1.10 Operasi Temperatur Terhadap Tebal HD PUF
Reference-Chiyoda Specification QGX-S-00-1390-002 Table II

Pipe Size (in)	Minimum Operating Temperature (°C)																				
	10	0	-10	-20	-30	-40	-50	-60	-70	-80	-90	-100	-110	-120	-130	-140	-150	-160	-170	-180	
0.5	25	25	30	35	40	45	50	55	60	60	65	70	75	75	80	85	85	90	90	95	95
0.75	25	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	75	80	85	85	90	90	95	95	95
1	25	25	30	40	45	50	55	60	65	70	75	75	80	85	90	90	95	95	100	100	100
1.25	25	30	35	40	45	55	60	65	65	75	75	75	80	90	95	90	95	95	100	100	100
1.50	25	30	35	40	45	55	60	65	70	75	80	85	90	90	95	100	100	105	110	110	110
2	25	30	35	45	50	55	60	65	75	80	85	90	90	95	100	105	105	110	115	115	115
2.5	25	30	35	45	50	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	110	115	120	120	120
3	25	30	40	45	55	60	65	75	80	85	90	95	100	105	110	115	115	120	125	125	125
4	25	30	40	50	55	60	70	75	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	130	135	135
5	25	30	40	50	55	65	70	80	85	95	100	105	110	115	120	125	130	135	135	140	140
6	25	35	40	50	60	65	75	80	90	95	100	110	115	120	125	130	135	135	140	145	145
8	25	35	45	50	60	70	80	85	95	100	105	115	120	125	130	135	140	140	150	150	150
10	25	35	45	55	60	70	80	90	95	105	110	120	125	130	135	140	145	150	155	160	160
12	25	35	45	55	65	75	80	90	100	105	115	120	130	135	140	145	150	155	160	165	165
14	25	35	45	55	65	75	85	90	100	110	115	125	130	135	140	145	155	160	165	165	165
16	25	35	45	55	65	75	85	95	100	110	120	125	130	140	145	150	155	160	165	170	170
18	25	35	45	55	65	75	85	95	105	110	120	125	135	140	145	155	160	165	170	175	175
20	25	35	45	55	65	75	85	95	105	115	120	130	135	145	150	155	160	165	170	175	175
22	25	35	45	55	65	80	90	95	105	115	120	130	135	145	150	155	160	165	170	180	180
24	25	35	45	55	65	80	90	95	105	115	125	130	140	145	155	160	165	170	175	180	180
26	25	35	45	60	70	80	90	95	105	115	125	130	140	145	155	160	165	170	175	180	180
28	25	35	45	60	70	80	90	95	105	115	125	130	140	145	155	160	165	170	175	180	180
30	25	35	45	60	70	80	90	100	110	120	125	135	145	150	160	165	170	175	180	190	190
32	25	35	45	60	70	80	90	100	110	120	130	135	145	150	160	165	170	175	180	190	190
34	25	35	45	60	70	80	90	100	110	120	130	135	145	150	160	165	170	175	180	190	190
36	25	35	45	60	70	80	90	100	110	120	130	140	145	155	160	170	175	180	185	190	190
38	25	35	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	145	155	160	170	175	180	185	190	190
40	25	35	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	145	155	160	170	175	180	185	190	190
42	25	35	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	155	165	170	175	185	190	195	195
44	25	35	50	60	70	80	90	105	115	125	130	140	150	155	165	170	175	185	190	195	195
46	25	35	50	60	70	80	90	105	115	125	135	140	150	155	165	170	175	185	190	195	195
48	25	35	50	60	70	80	90	105	115	125	135	140	150	160	165	175	180	185	190	200	200
50	25	35	50	60	70	80	95	105	115	125	135	145	150	160	165	175	180	185	190	200	200
52	25	35	50	60	70	80	95	105	115	125	135	145	150	160	165	175	180	185	190	200	200
54	25	35	50	60	70	80	95	105	115	125	135	145	150	160	165	175	180	190	190	200	200
56	25	35	50	60	70	80	95	105	115	125	135	145	150	160	165	175	180	190	190	200	200
58	25	35	50	60	70	80	95	105	115	125	135	145	150	160	165	175	180	190	190	200	200
60	25	35	50	60	70	80	95	105	115	125	135	145	155	160	170	175	185	190	195	200	200
62	25	35	50	60	70	85	95	105	115	125	135	145	155	160	170	180	185	190	195	200	200
64	25	35	50	60	70	85	95	105	115	125	135	145	155	160	170	180	185	190	195	200	200
66	25	35	50	60	70	85	95	105	115	125	135	145	155	160	170	180	185	190	195	200	200
68	25	35	50	60	70	85	95	105	115	125	135	145	155	160	170	180	185	190	195	200	200

Tabel 1.10 Operasi Temperatur Terhadap Tebal HD PUF
Reference-Chiyoda Specification QGX-S-00-1390-002 Table II

Pipe Size (in)	Minimum Operating Temperature (°C)																			
	10	0	-10	-20	-30	-40	-50	-60	-70	-80	-90	-100	-110	-120	-130	-140	-150	-160	-170	-180
	Insulation Thickness (mm)																			
70	25	35	50	60	70	85	95	105	115	125	135	145	155	160	170	180	185	190	195	200
72	25	35	50	60	70	85	95	105	115	125	135	145	155	165	170	180	185	195	200	205
80	25	35	50	60	70	85	95	105	115	125	135	145	155	165	170	180	185	195	200	205

Tabel 1.11 Perhitungan Penyusutan HD PUF yang berkaitan dengan suhu

Item	Tag No.	Pipe Size In.	NB	OD (mm)	Total Insulation Thickness	Operating Temperature	Ambient Temperature	Cryogenic shrinkage (mm)
1	SHC4-12-160-300M	12	300	323.9	160	-170	32	4.37
2	SHC4-14-165-300M	14	350	355.6	165	-180	32	4.85
3	SHC4-16-165-300M	16	400	406.4	165	-170	32	4.90
4	SHC4-16-50-300M	16	400	406.4	50	-10	32	0.63
5	SHC4-16-50-350M	16	400	406.4	50	-10	32	0.63
6	SHC4-16-50-400M	16	400	406.4	50	-10	32	0.63
7	SHC4-18-270-300M	18	450	457.2	270	-180	32	7.22
8	SHC4-2-115-300M	2	50	60.3	115	-180	32	2.30
9	SHC4-24-175-400M	24	600	609.6	175	-170	32	6.18
10	SHC4-26-180-500M	26	650	660.4	180	-180	32	6.86
11	SHC4-28-180-400M	28	700	711.2	180	-180	32	7.15
12	SHC4-30-160-500M	30	750	762	160	-130	32	5.43
13	SHC4-32-185-500M	32	800	812.8	185	-170	32	7.46
14	SHC4-32-185-600M	32	800	812.8	185	-170	32	7.46
15	SHC4-34-160-500M	34	850	863.6	160	-130	32	5.88
16	SHC4-36-185-500M	36	900	914.4	185	-170	32	8.01
17	SHC4-36-285-500M	36	900	914.4	285	-180	32	10.11
18	SHC4-36-285-550M	36	900	914.4	285	-180	32	10.11
19	SHC4-36-285-600M	36	900	914.4	285	-180	32	10.11
20	SHC4-36-285-650M	36	900	914.4	285	-180	32	10.11
21	SHC4-58-50-550M	58	1450	1473.2	50	-10	32	1.85
22	SHC4-6-140-300M	6	150	168.3	140	-170	32	3.19
23	SHC4-64-200-600M	64	1600	1625.6	200	-180	32	12.76
24	SHC4-64-200-700M	64	1600	1625.6	200	-180	32	12.76
25	SHC4-64-200-750M	64	1600	1625.6	200	-180	32	12.76
26	SHC4-64-200-800M	64	1600	1625.6	200	-180	32	12.76
27	SHC5-12-160-300M	12	300	323.9	160	-170	32	4.37
28	SHC5-14-165-300M	14	350	355.6	165	-180	32	4.85
29	SHC5-16-165-300M	16	400	406.4	165	-170	32	4.90
30	SHC5-24-175-400M	24	600	609.6	175	-170	32	6.18
31	SHC5-28-180-400M	28	700	711.2	180	-180	32	7.15
32	SHC5-32-185-500M	32	800	812.8	185	-170	32	7.46
33	SHC5-32-185-600M	32	800	812.8	185	-170	32	7.46
34	SHC5-36-185-500M	36	900	914.4	185	-170	32	8.01
35	SHC5-36-285-500M	36	900	914.4	285	-180	32	10.11
36	SHC5-6-140-300M	6	150	168.3	140	-170	32	3.19
37	SHC6-16-165-300M	16	400	406.4	165	-170	32	4.90
38	SHC6-16-50-300M	16	400	406.4	50	-10	32	0.63
39	SHC6-16-50-350M	16	400	406.4	50	-10	32	0.63
40	SHC6-16-50-400M	16	400	406.4	50	-10	32	0.63
41	SHC6-16-50-450M	16	400	406.4	50	-10	32	0.63
42	SHC6-24-175-400M	24	600	609.6	175	-170	32	6.18
43	SHC6-26-180-500M	26	650	660.4	180	-180	32	6.86
44	SHC6-32-185-500M	32	800	812.8	185	-170	32	7.46
45	SHC6-34-160-500M	34	850	863.6	160	-130	32	5.88
46	SHC6-36-185-500M	36	900	914.4	185	-170	32	8.01
47	SHC6-36-285-500M	36	900	914.4	285	-180	32	10.11
48	SHC6-36-285-600M	36	900	914.4	285	-180	32	10.11

Tabel 1.11 Perhitungan Penyusutan HD PUF yang berkaitan dengan suhu

Item	Tag No.	Pipe Size In.	NB	OD (mm)	Total Insulation Thickness	Operating Temperature	Ambient Temperature	Cryogenic shrinkage (mm)
49	SHC6-36-285-650M	36	900	914.4	285	-180	32	10.11
50	SHC6-58-50-550M	58	1450	1473.2	50	-10	32	1.85
51	SHC6-6-140-300M	6	150	168.3	140	-170	32	3.19
52	SHC6-64-200-600M	64	1600	1625.6	200	-180	32	12.76
53	SHC6-64-200-650M	64	1600	1625.6	200	-180	32	12.76
54	SHC6-64-200-700M	64	1600	1625.6	200	-180	32	12.76
55	SHC6-64-200-750M	64	1600	1625.6	200	-180	32	12.76
56	SHC6-64-200-800M	64	1600	1625.6	200	-180	32	12.76
57	SHC6-64-200-850M	64	1600	1625.6	200	-180	32	12.76
58	SHC7-16-165-300M	16	400	406.4	165	-170	32	4.90
59	SHC7-26-180-500M	26	650	660.4	180	-180	32	6.86
60	SHC7-28-180-400M	28	700	711.2	180	-180	32	7.15
61	SHC7-36-185-500M	36	900	914.4	185	-170	32	8.01

4.3 Pemilihan Disc Spring, Baut Klemp dan Ear Lug

1. Pemilihan Disc Spring – Defleksi Disc Spring

Contoh Kalkulasi

Type SHC4-36-185 dengan tebal Insulation adalah 185mm (lihat .

Total operasi gaya clamp = 19.749 N

Pengerutan gap Ear Lug = 8,01 mm

Jumlah Baut = 6

Type Disc Spring = 60x20.5x2

Baban Operasi per Baut = $19.749 / 6 = 3.292 \text{ N}$

Contoh untuk satu disc spring

Jumlah susunan seri untuk disc spring = 1

60x20.5x2 25% defleksi = 0,523 mm

60x20.5x2 25% load = 2,216 N

60x20.5x2 50% defleksi = 1,05 mm

60x20.5x2 25% load = 3,635 N

Interpolasi antara 25% - 50% beban dan titik-titik defleksi untuk menentukan defleksi satu disc spring dibawah perhitungan beban operasi.

$$\text{Defleksi} = \frac{(OP.Load - 25\% Load) \times (50\% defl.n - 25\% defl.n)}{(50\% Load - 25\% Load)} + 25\% defl.n$$
$$= 0,922 \text{ mm}$$

$$\% \text{ beban operasi saat beban operasi} = \frac{\text{Operasi.defleksi}}{100\% Load}$$
$$= \frac{0,92}{2,1}$$
$$= 44\%$$

- a) Menentukan jumlah disc spring yang diperlukan karena pengerutan

Jumlah disc spring yang dibutuhkan berdasarkan pengkerutan dan beban pada disc spring dan tidak boleh melebihi dari 75% dari gaya kerja disc spring.

Setiap disc spring dapat menyerap pergerakan tanpa melewati beban maksimum pada load 75% defleksi.

$$60 \times 20,5 \times 2 \quad 75\% \text{ defleksi} = 1,57 \text{ mm}$$

Defleksi antara beban operasi dan 75% adalah

$$\text{Defleksi satu disc spring} = 75\% \text{ defleksi} - \text{operasi defleksi}$$

$$= 1,57 - 0,923$$

$$= 0,65 \text{ mm}$$

Jumlah disc spring yang dibutuhkan adalah

$$\text{Jumlah disc spring} = \frac{\text{jarak.peng ker u tan}}{\text{defleksi.perset.discspring}}$$

$$= \frac{8,01}{0,65}$$

$$= 12,36111$$

Jadi jumlah disc spring yang diperlukan adalah 13 sets.

- b) Menentukan defleksi normal

Defleksi pada setiap disc spring telah dihitung di atas.

$$\text{Operasi defleksi} = 0,922 \text{ mm}$$

Pengkerutan pada puf yang telah dihitung diatas adalah

$$\text{Pengerutan gap Ear Lug} = 8,01 \text{ mm}$$

Jumlah defleksi dari kondisi operasi normal ke disc spring dapat dijabarkan sebagai berikut:

$$\Delta \text{ operasi defl.n ke operasi normal} = \frac{\text{pengertan}}{\text{jumlah.discspring}}$$

$$= 0,616 \text{ mm}$$

Total defleksi pada setiap disc spring pada kondisi normal adalah

$$\text{Defleksi normal disc spring} = \text{operasi defleksi} + \Delta \text{ operasi defleksi ke}$$

$$\text{operasi normal}$$

$$= 1,54 \text{ mm}$$

$$\% \text{ defleksi normal} = \frac{1,54}{2,1}$$

$$= 73\%$$

c) Menentukan beban pada kondisi normal

Defleksi normal disk spring = 1,54mm

% defleksi normal = 73%

Interpolasi untuk mencari beban pada kondisi normal

Beban normal per Bolt

$$= \frac{\text{defleksi}' \text{normal.n} - 50\% \text{defleksi})x(75\% \text{Load} - 50\% \text{Load}}{(75\% \text{defleksi}.n - 50\% \text{defleksi}.n)} + 50\% \text{Load}$$

$$= 4,468 \text{ N}$$

2. Pemilihan baut

Beban kerja maksimum M20 = 176.400 N

Beban baut normal = 4.468 N

Hasil = **OK**

Perhitungan panjang baut

Panjang baut = susunan disc pd kondisi normal + (2 x tebal washer) + (2 x tebal ear lug) + 40 gap ear lug + (2 x diameter baut)

Susunan disc spring pada kondisi normal = 13 x (2+2,1)
= 54,6 mm

Tebal washer M20 = 2 mm

Tebal ear lug = 10 mm

Gap ear lug = 40 mm

Diameter baut = 20 mm

Panjang baut = 158,6 mm
= 160 mm

3. Pemilihan ear lug

Dipilih ukuran bolt = M20

Beban baut normal = 4,468 N

Pemilihan ear lug = 60-20-180

Maksimum beban kerja = 18.000 N

Hasil = **OK**

Jadi pemilihan susunan disc spring, baut dan ear lug diatas adalah sebagai berikut:

Jumlah baut	6
Ukuran disc spring	60x20,5x2
Susunan konfigurasi disc spring	1 x 13
Diameter baut	M20
Panjang baut	160 mm
Susunan disc spring pada kondisi normal	54,6 mm
Pergerakan kondisi kerja ke normal	8,01
Ukuran ear lug	60-20-180

Tabel 1.12 Pemilihan Disc Springs, Clamp Bolts and Ear Lug

Item	Tag No.	NPS	D, Pipe Diameter (mm)	Total Insulation Thickness (mm)	No. of ears	Shrinkage (mm)	Operating Clamp Force Fclamp (N) Total	Disc Spring	Parallel Discs	Series Disc Sets	Bolt Size	Bolt Length (mm)	Ambient Preload per bolt (N)	Ambient Torque (Nm)	Ear type
1	SHC4-12-160-300M	12	323.9	160	4	4.37	6826	34x12.3x1.25	2	9	12	120	3318	8.0	34-12-020
2	SHC4-14-165-300M	14	355.6	165	4	4.85	7343	34x12.3x1.25	2	11	12	125	3284	7.9	34-12-020
3	SHC4-16-165-300M	16	406.4	165	4	4.90	11840	34x12.3x1.25	3	12	12	150	4939	11.9	34-12-035
4	SHC4-16-50-300M	16	406.4	50	4	0.63	11495	34x12.3x1.25	3	2	12	100	4480	10.8	34-12-020
5	SHC4-16-50-350M	16	406.4	50	4	0.63	11555	34x12.3x1.25	3	2	12	100	4489	10.8	34-12-020
6	SHC4-16-50-400M	16	406.4	50	4	0.63	11615	34x12.3x1.25	3	2	12	100	4502	10.8	34-12-055
7	SHC4-18-270-300M	18	457.2	270	4	7.22	11863	34x12.3x1.25	3	17	12	170	5011	12.0	34-12-035
8	SHC4-2-115-300M	2	60.3	115	4	2.30	383	34x12.3x1.25	1	3	12	90	1643	3.9	34-12-020
9	SHC4-24-175-400M	24	609.6	175	6	6.18	23395	60x20.5x2	2	6	20	145	8773	35.1	60-20-180
10	SHC4-26-180-500M	26	660.4	180	6	6.86	23889	34x12.3x1.25	4	16	12	185	6727	16.1	34-12-035
11	SHC4-28-180-400M	28	711.2	180	6	7.15	23667	60x20.5x2	2	7	20	150	8763	35.1	60-20-180
12	SHC4-30-160-500M	30	762	160	6	5.43	37502	60x20.5x2	2	8	20	155	8940	35.8	60-20-180
13	SHC4-32-185-500M	32	812.8	185	6	7.46	31435	60x20.5x2	2	9	20	160	8814	35.3	60-20-180
14	SHC4-32-185-600M	32	812.8	185	6	7.46	31912	60x20.5x2	2	9	20	160	8865	35.5	60-20-180
15	SHC4-34-160-500M	34	863.6	160	6	5.88	34113	60x20.5x2	2	8	20	155	8776	35.1	60-20-180
16	SHC4-36-185-500M	36	914.4	185	6	8.01	37325	60x20.5x2	3	8	20	170	13164	52.7	60-20-180
17	SHC4-36-285-500M	36	914.4	285	6	10.11	37719	60x20.5x2	3	10	20	185	13241	53.0	60-20-180
18	SHC4-36-285-550M	36	914.4	285	6	10.11	38024	60x20.5x2	3	10	20	185	13262	53.0	60-20-180
19	SHC4-36-285-600M	36	914.4	285	6	10.11	38328	60x20.5x2	3	10	20	185	13282	53.1	60-20-180
20	SHC4-36-285-650M	36	914.4	285	6	10.11	38632	60x20.5x2	3	10	20	185	13303	53.2	60-20-180
21	SHC4-58-50-550M	58	1473.2	50	6	1.85	61799	60x20.5x2	3	4	20	140	12893	51.6	60-20-180
22	SHC4-6-140-300M	6	168.3	140	4	3.19	1399	34x12.3x1.25	1	5	12	95	1592	3.8	34-12-020
23	SHC4-64-200-600M	64	1625.6	200	8	12.76	89057	60x20.5x2	4	16	20	270	17826	71.3	60-20-180
24	SHC4-64-200-700M	64	1625.6	200	8	12.76	89988	60x20.5x2	4	16	20	270	17901	71.6	60-20-180
25	SHC4-64-200-750M	64	1625.6	200	8	12.76	90425	60x20.5x2	4	16	20	270	17935	71.7	60-20-180
26	SHC4-64-200-800M	64	1625.6	200	8	12.76	90862	60x20.5x2	4	16	20	270	17969	71.9	60-20-180

Tabel 1.12 Pemilihan Disc Springs, Clamp Bolts and Ear Lug

Item	Tag No.	NPS	D, Pipe Diameter (mm)	Total Insulation Thickness (mm)	No. of ears	Shrinkage (mm)	Operating Clamp Force Fclamp (N) Total	Disc Spring	Parallel Discs	Series Disc Sets	Bolt Size	Bolt Length (mm)	Ambient Preload per bolt (N)	Ambient Torque (Nm)	Ear type
27	SHC5-12-160-300M	12	323.9	160	4	4.37	6493	34x12.3x1.25	2	9	12	120	3256	7.8	34-12-035
28	SHC5-14-165-300M	14	355.6	165	4	4.85	6900	34x12.3x1.25	2	10	12	120	3329	8.0	34-12-035
29	SHC5-16-165-300M	16	406.4	165	4	4.90	11257	34x12.3x1.25	3	11	12	145	4990	12.0	34-12-055
30	SHC5-24-175-400M	24	609.6	175	6	6.18	22239	34x12.3x1.25	4	14	12	170	6596	15.8	34-12-070
31	SHC5-28-180-400M	28	711.2	180	6	7.15	22426	34x12.3x1.25	4	16	12	185	6653	16.0	34-12-070
32	SHC5-32-185-500M	32	812.8	185	6	7.46	29494	60x20.5x2	2	8	20	155	8961	35.8	60-20-180
33	SHC5-32-185-600M	32	812.8	185	6	7.46	29657	60x20.5x2	2	8	20	155	8978	35.9	60-20-180
34	SHC5-36-185-500M	36	914.4	185	6	8.01	35112	60x20.5x2	2	11	20	175	8858	35.4	60-20-180
35	SHC5-36-285-500M	36	914.4	285	6	10.11	35226	60x20.5x2	2	13	20	185	9039	36.2	60-20-180
36	SHC5-6-140-300M	6	168.3	140	4	3.19	1233	34x12.3x1.25	1	5	12	95	1571	3.8	34-12-020
37	SHC6-16-165-300M	16	406.4	165	4	4.90	11939	34x12.3x1.25	3	12	12	150	4956	11.9	34-12-035
38	SHC6-16-50-300M	16	406.4	50	4	0.63	11592	34x12.3x1.25	3	2	12	100	4497	10.8	34-12-020
39	SHC6-16-50-350M	16	406.4	50	4	0.63	11668	34x12.3x1.25	3	2	12	100	4510	10.8	34-12-055
40	SHC6-16-50-400M	16	406.4	50	4	0.63	11812	34x12.3x1.25	3	2	12	100	4536	10.9	34-12-055
41	SHC6-16-50-450M	16	406.4	50	4	0.63	11887	34x12.3x1.25	3	2	12	100	4553	10.9	34-12-055
42	SHC6-24-175-400M	24	609.6	175	6	6.18	23405	60x20.5x2	2	6	20	145	8773	35.1	60-20-180
43	SHC6-26-180-500M	26	660.4	180	6	6.86	24310	60x20.5x2	2	7	20	150	8663	34.7	60-20-180
44	SHC6-32-185-500M	32	812.8	185	6	7.46	32028	60x20.5x2	2	9	20	160	8875	35.5	60-20-180
45	SHC6-34-160-500M	34	863.6	160	6	5.88	34690	60x20.5x2	2	8	20	155	8838	35.4	60-20-180
46	SHC6-36-185-500M	36	914.4	185	6	8.01	37931	60x20.5x2	3	8	20	170	13205	52.8	60-20-180
47	SHC6-36-285-500M	36	914.4	285	6	10.11	38470	60x20.5x2	3	10	20	185	13287	53.1	60-20-180
48	SHC6-36-285-600M	36	914.4	285	6	10.11	39173	60x20.5x2	3	10	20	185	13338	53.4	60-20-180
49	SHC6-36-285-650M	36	914.4	285	6	10.11	39560	60x20.5x2	3	10	20	185	13364	53.5	60-20-180
50	SHC6-58-50-550M	58	1473.2	50	6	1.85	62524	60x20.5x2	3	4	20	140	12970	51.9	60-20-180
51	SHC6-6-140-300M	6	168.3	140	4	3.19	1434	34x12.3x1.25	1	5	12	95	1597	3.8	34-12-020
52	SHC6-64-200-600M	64	1625.6	200	8	12.76	90270	60x20.5x2	4	16	20	270	17921	71.7	60-20-180

Tabel 1.12 Pemilihan Disc Springs, Clamp Bolts and Ear Lug

Item	Tag No.	NPS	D, Pipe Diameter (mm)	Total Insulation Thickness (mm)	No. of ears	Shrinkage (mm)	Operating Clamp Force Fclamp (N) Total	Disc Spring	Parallel Discs	Series Disc Sets	Bolt Size	Bolt Length (mm)	Ambient Preload per bolt (N)	Ambient Torque (Nm)	Ear type
53	SHC6-64-200-650M	64	1625.6	200	8	12.76	90782	60x20.5x2	4	16	20	270	17962	71.8	60-20-180
54	SHC6-64-200-700M	64	1625.6	200	8	12.76	91294	60x20.5x2	4	16	20	290	18003	72.0	60-20-180
55	SHC6-64-200-750M	64	1625.6	200	8	12.76	91806	60x20.5x2	4	16	20	290	18044	72.2	60-20-180
56	SHC6-64-200-800M	64	1625.6	200	8	12.76	92318	60x20.5x2	4	16	20	290	18085	72.3	60-20-180
57	SHC6-64-200-850M	64	1625.6	200	8	12.76	92830	60x20.5x2	4	17	20	280	17805	71.2	60-20-180
58	SHC7-16-165-300M	16	406.4	165	4	4.90	11279	34x12.3x1.25	3	11	12	145	4994	12.0	34-12-055
59	SHC7-26-180-500M	26	660.4	180	6	6.86	22581	60x20.5x2	2	7	20	150	8547	34.2	60-20-180
60	SHC7-28-180-400M	28	711.2	180	6	7.15	22480	60x20.5x2	2	7	20	150	8684	34.7	60-20-180
61	SHC7-36-185-500M	36	914.4	185	6	8.01	35251	60x20.5x2	2	11	20	175	8872	35.5	60-20-180

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisa gaya-gaya yang bekerja pada PIPE SUPPORT, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari hasil perhitungan gaya-gaya yang bekerja pada klemp untuk HD PUF diketahui bahwa diperlukan gaya-gaya yang bekerja untuk mencegah rotasi dan slip/sliding pada Pipe Support

Siding Shoe

$$F_{\text{clamp axial}} = \frac{FV (\mu_{\text{BASE}} - \mu_{\text{PUF}}) + \mu_{\text{BASE}} FSHOE}{2 \mu_{\text{PUF}}}$$

Guide Shoe

$$F_{\text{Clamp Axial}} = \frac{\mu_{\text{BASE}} (FV + FSHOE) + \mu_{\text{STEEL FL}} - \mu_{\text{PUF FL}} - \mu_{\text{PUF FV}}}{2 \mu_{\text{PUF}}}$$

2. Untuk menghindari kerusakan pada HD PUF karena pengertalan, maka harus mempertimbangkan desain HD PUF insulation dan beban yang dapat menahan gaya axial dan gaya sliding.

$$\delta_{\text{cryogenic shrinkage}} = 2 \cdot \alpha_{\text{PUF}} (T_a H - \frac{\Delta T \cdot H}{2} - T_i \cdot H) + 2 \cdot \alpha_{\text{pipe}} \cdot (T_a - T_i) \cdot R_{\text{pipe}}$$

3. Perhitungan susunan disc spring, baut, dan ear lug adalah untuk menjaga HD PUF insulation dan pipa tidak terjadi pergeseran sehingga menghindari tabrakan antara HD PUF insulation dengan low density HD PUF insulation juga untuk menjaga tidak terjadi pergeseran pada HD PUF insulation yang dikarenakan pengkerutan oleh pipa pada suhu cryogenik.

Disc Spring

$$\text{Jumlah disc spring} = \frac{\text{jarak.peng ker u tan}}{\text{defleksi.perset.discspring}}$$

Baut

Panjang baut = susunan disc pd kondisi normal + (2 x tebal washer) + (2 x tebal ear lug) + 40 gap ear lug + (2 x diameter baut)

Ear Lug

Pemilihan ear lug berdasarkan tabel ukuran dari disc spring dan gaya pada kondisi normal pada baut.kapasitas gaya dari setiap ear lug dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Ear Type	Disc Diameter	Load Capacity Newtons	Ear Description
34-12-020	34	2,000N	50x50x6 Equal Angle
34-12-035	34	3,500N	75x75x8 Equal Angle
34-12-055	34	5,500N	75x75x10 Equal Angle
34-12-070	34	7,000N	75x75x8 Equal Angle w. Gussets
60-20-180	60	18,000N	100x100x10 Equal Angle w. Gussets
60-25-440	60	44,000N	Fabricated 20mm w. Gussets

5.2. Saran

Berikut adalah saran-saran yang perlu diberikan agar dapat dijadikan bahan pengembangan analisa terhadap Pipe Support. Adapun saran-saran tersebut adalah sebagai berikut:

1. Diperlukan perancangan pengaturan clamp yang baik untuk mengatasi daya dorong disekitar sumbu dan mencegah pergseran antara HD PUF cradle dan pipa.
2. Pada saat kondisi normal dan kondisi pengkerutan pada HD PUF insulation, dimensi-dimensi HD PUF insulation dan klemp perlu diperhatikan nilai serta validasinya untuk memudahkan pada saat melakukan proses perhitungan dan desain HD PUF insulation.
3. Untuk mendapatkan pemilihan disc spring, baut klemp dan ear lug yang aman dan optimal pada pipe support terhadap tabrakan karena pergeseran, maka diperlukan perhitungan gaya yang bekerja pada pipe support untuk mendesign kebutuhan disc spring, baut klemp dan ear lug tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Smith, Paul R., Van Laan ,Thomas J.**, “*Piping and Pipe Support System, United States of America* 1987
- Shigley J.E. L.D.Mitchel**, “*Mechanical Engineering Design*”, McGraw Hill 1983
- Holman J.P.**, “*Perpindahan Kalor*”, McGraw Hill 1986
- BECETEL - Belgian research Centre for Pipes and Fittings Report No. 2888**,
“*Determination of thermal expansion of rigid foam supplied by Recinco*”,
1996