

RSNI3

Rancangan-3 Standar Nasional Indonesia

Panduan Desain Pipa Pesat Baja Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) dan Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM)

Rancangan 3 Standar Nasional Indonesia (RSNI-3)
disusun oleh Komite Teknis 27-03 Aneka Energi Baru dan Energi Terbarukan

Pengguna RSNI ini diminta untuk menginformasikan adanya hak paten dalam dokumen ini, bila diketahui tanpa memberi informasi pendukung lainnya (pemilik paten: bagian yang terkena paten, alamat pemberi paten dan lain lain)

Daftar isi

Daftar isi	i
Prakata	ii
1. Ruang lingkup.....	1
2. Acuan normatif	1
3. Istilah dan definisi	1
4. Kriteria desain.....	2
5. Pintu air dan katup.....	6
6. Pengamanan tekanan pipa	6
7. Tumpuan dan <i>anchor block</i>	8
8. Aksesoris pipa pesat.....	9
Lampiran A (informatif) Aksesoris Pipa Pesat	15
Bibliografi.....	16
Gambar 1 - Contoh massa berputar pada pembangkit.....	7
Gambar 2 - Ilustrasi untuk <i>guide vane regulating ring mechanism</i>	7
Gambar 3 - Contoh pemasangan struktur tangki pengelak pada pipa pesat	8
Gambar 4 - Contoh ilustrasi <i>flange</i>	10
Gambar 5 - Contoh ilustrasi <i>elbow</i>	10
Gambar 6 - Contoh ilustrasi <i>expansion joint</i>	11
Gambar 7 - Contoh ilustrasi <i>dismantling joint</i>	12
Gambar 8 - Contoh perakitan standar <i>manhole</i>	13
Gambar 9 - Contoh percabangan dua pipa pesat	13
Gambar 10 - Contoh ilustrasi <i>air vent</i> pipa pesat	14
Gambar A.1 - Cincin pengaku pada pipa pesat.....	15

Prakata

Standar Nasional Indonesia (SNI) 8635:20YY dengan judul Panduan desain pipa pesat baja Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) dan Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) yang dalam Bahasa Inggris berjudul *Steel Penstock Designing Guidance for Micro Hydropower Plant and Mini Hydropower Plant* merupakan standar revisi dari SNI 8635:2018, "Panduan desain pipa pesat PLTMH Kelas D (Kapasitas 600 kW – 1 MW)". Standar ini disusun dengan jalur pengembangan sendiri, dilakukan dalam rangka perubahan ruang lingkup sesuai dengan kebutuhan pengguna standar.

Standar bertujuan untuk memberikan acuan bagi kalangan profesional, praktisi, akademisi, pemerintah dan masyarakat tentang desain pipa pesat untuk PLTMH dan PLTM. Revisi pada SNI ini bertujuan agar perancangan pipa pesat dapat diterapkan pada semua kelas PLTMH (Kelas A, Kelas B, Kelas C, dan Kelas D) dan PLTM (kapasitas lebih dari 1 MW sampai dengan 10 MW) dengan rincian perubahan sebagai berikut:

- a. Pintu air dan katup.
- b. Pengamanan tekanan pipa.
- c. Tumpuan dan *anchor block*.
- d. Aksesoris pipa pesat.

Standar ini disusun oleh Komite Teknis 27-03 Aneka Energi Baru dan Energi Terbarukan sesuai prosedur perumusan standar dan telah melalui Rapat Konsensus secara hibrida di Bandung pada tanggal 13 Agustus 2024 yang dihadiri oleh para pemangku kepentingan (*stakeholder*) terkait yaitu perwakilan dari pelaku usaha, konsumen, pakar dan pemerintah. Standar ini telah melalui tahap konsensus dan jajak pendapat pada tanggal 4 September 2024 sampai dengan 4 Oktober 2024 dengan hasil disetujui menjadi SNI.

Beberapa istilah dalam standar ini tetap dituliskan dalam Bahasa Inggris untuk memudahkan pengguna standar. Komite Teknis 27-03 Aneka Energi Baru dan Energi Terbarukan belum menemukan padanan kata yang sesuai dengan kamus besar Bahasa Indonesia saat standar ini disusun.

Untuk menghindari kesalahan dalam penggunaan dokumen standar ini, disarankan bagi pengguna standar untuk menggunakan dokumen SNI yang dicetak dengan tinta berwarna.

Perlu diperhatikan bahwa kemungkinan beberapa unsur dari Standar ini dapat berupa hak kekayaan intelektual (HAKI). Namun selama proses perumusan SNI, Badan Standardisasi Nasional telah memperhatikan penyelesaian terhadap kemungkinan adanya HAKI terkait substansi SNI. Apabila setelah penetapan SNI masih terdapat permasalahan terkait HAKI, Badan Standardisasi Nasional tidak bertanggung jawab mengenai bukti, validitas, dan ruang lingkup dari HAKI tersebut.

Panduan Desain Pipa Pesat Baja Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) dan Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM)

1. Ruang lingkup

Standar ini menetapkan hal-hal terkait dengan desain pipa pesat baja pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) dan Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM). Beberapa hal yang ditetapkan pada standar ini meliputi kriteria desain pipa pesat serta bahan materialnya. Selain itu juga terdapat ketentuan terkait pintu air dan katup, pengamanan tekanan pipa, tumpuan dan *anchor block*, aksesoris pipa pesat serta perluasan kapasitas pembangkit untuk skala PLTMH dan PLTM. Standar ini dapat digunakan untuk keperluan panduan pembuatan studi kelayakan maupun perancangan pipa pesat pada PLTMH (kapasitas lebih besar daripada 5 kW sampai dengan 1 MW) dan PLTM (kapasitas lebih besar daripada 1 MW sampai dengan 10 MW) sesuai SNI 8396.

2. Acuan normatif

Dokumen acuan berikut sangat diperlukan untuk penerapan dokumen ini. Untuk acuan bertanggal, hanya edisi yang disebutkan yang berlaku. Untuk acuan tidak bertanggal, berlaku edisi terakhir dari dokumen tersebut (termasuk seluruh perubahan atau amandemennya).

SNI 8396, *Klasifikasi Pembangkit Listrik Tenaga Air*

SNI 71, *Pipa baja las (kampuh) spiral*

3. Istilah dan definisi

3.1

debit

volume air per satuan waktu yang mengalir melalui penampang saluran atau pipa

3.2

gross head (tinggi jatuh kotor)

perbedaan ketinggian air di bak penenang (*headpond*) atas dan ketinggian air di saluran pembuangan (*tailrace*)

3.3

katup air

komponen yang berfungsi untuk mengatur debit air pada pipa pesat

3.4

head loss (rugi-rugi hidrolis)

kehilangan energi potensial air akibat gesekan saat air mengalir melalui pipa pesat, saluran, dan turbin

3.5

main inlet valve (MIV)

katup utama untuk mengalirkan air ke turbin

3.6**net head (tinggi jatuh bersih)**

perbedaan antara *gross head* dan *head loss*

3.7**pipa pesat**

pipa yang mengalirkan air dari bak penenang ke turbin untuk mengubah energi potensial air menjadi energi kinetik air

3.8**tangki pengelak (*surge tank*)**

suatu bangunan yang berfungsi untuk mengurangi dampak *water hammer* atau bangunan untuk mengalihkan tekanan berlebih

3.9**water hammer**

suatu fenomena terjadinya perubahan tekanan yang disebabkan oleh terhenti atau dihentikannya aliran di dalam pipa secara mendadak

3.10**waterway**

kumpulan atau sebuah bangunan yang menyalurkan air dari sungai hingga bak penenang

4. Kriteria desain**4.1 Pipa pesat**

Desain pipa pesat mengacu pada perencanaan (debit, *head*, dan jalur pipa pesat) mulai dari bak penenang menuju turbin yang umumnya ditempatkan di rumah pembangkit. Perencanaan pipa pesat mempertimbangkan kinerja pipa pesat, biaya pembangunan, dan usia operasional.

4.2 Jenis dan spesifikasi material

Berbagai faktor yang harus dipertimbangkan dalam menentukan desain pipa pesat di antaranya adalah faktor teknis dan faktor lingkungan. Beberapa hal terkait dengan faktor teknis adalah:

- a. Tekanan.
- b. Diameter.
- c. Ketebalan.
- d. Kekasaran permukaan (*surface roughness*).
- e. Kemudahan instalasi.
- f. Metode penyambungan.
- g. Ketahanan karat material.
- h. Panjang dan berat.

Adapun faktor lingkungan yang dimaksud antara lain:

- a. Kualitas air.
- b. Kontur topografi.
- c. Kecenderungan pergerakan tanah.
- d. Daya dukung tanah.
- e. Ekosistem.
- f. Klimatologi.

Pada standar ini, terdapat dua jenis pipa yang dapat digunakan dalam pipa pesat, yaitu pipa baja las lurus (*straight seam*) dan pipa baja las spiral (*spiral seam*). Bahan baku yang digunakan adalah baja karbon dalam bentuk gulungan (*hot rolled steel coil*) atau dalam bentuk pelat.

4.3 Dasar perhitungan parameter pipa pesat

4.3.1 Diameter pipa

Perhitungan diameter pipa pesat dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti *net head*, rugi-rugi aliran akibat gesekan pada pipa, panjang pipa pesat dan faktor lainnya. *Net head* diperoleh dari hasil pengurangan *gross head* terhadap rugi-rugi yang terjadi pada pipa pesat seperti gesekan dan turbulensi. Perhitungan rugi-rugi *head* akibat gesekan pada pipa pesat dapat menggunakan Persamaan 1.

$$\frac{h_f}{L} = 10,3 \frac{n^2 Q^2}{D^{5\frac{1}{3}}} \quad (1)$$

Keterangan:

- h_f : rugi-rugi *head* (*head loss*) akibat gesekan (m).
- L : panjang pipa pesat (m).
- n : konstanta material pipa pesat (0,012 untuk pipa baja las lurus dan baja las spiral).
- Q : debit desain (m^3/s).
- D : diameter pipa pesat (m).

Dengan demikian, diameter pipa pesat dapat ditentukan menggunakan Persamaan 2.

$$D = \left(\frac{10,3 n^2 Q^2 L}{h_f} \right)^{0,1875} \quad (2)$$

4.3.2 Tebal pipa pesat

Ketebalan pipa ditentukan berdasarkan kebutuhan desain dengan mempertimbangkan beberapa faktor seperti jenis material pipa, kekuatan tarik (*yield strength* dan *tensile strength*), diameter pipa, dan tekanan operasi. Pada aliran tunak (*steady flow*) dengan debit diasumsikan tetap konstan terhadap waktu, tekanan operasi pada setiap titik sepanjang pipa pesat setara dengan *head* di atas titik tersebut. Oleh karena itu, tebal pipa dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.

$$e = \frac{P_1 D}{2\sigma_f k_f} + e_s \quad (3)$$

Keterangan:

- e : tebal pipa pesat (mm).
- e_s : tebal tambahan pipa pesat untuk korosi (mm).
- P_1 : tekanan maksimum pada pipa pesat (kN/mm^2).
- D : diameter internal pipa pesat (mm).
- k_f : efisiensi pengelasan ($k_f = 0,9$ jika pipa diperiksa dengan sinar-X dan $k_f = 1$ untuk pipa yang diperiksa dengan sinar-X dan mengalami *stress relieved*).
- σ_f : adalah *yield strength* yang diizinkan pada material (kN/mm^2).

P_1 dapat dihitung menggunakan Persamaan 4.

$$P_1 = P_0 + \Delta P \quad (4)$$

Keterangan:

P_0 : tekanan akibat gross head (kN/mm^2).

ΔP : perubahan tekanan yang diizinkan pada pipa pesat (kN/mm^2).

ΔP dapat dihitung menggunakan Persamaan 5:

$$\Delta P = P_0 \left(\frac{N}{2} \pm \sqrt{\frac{N^2}{4} + N} \right) \quad (5)$$

N dapat dihitung menggunakan Persamaan 6:

$$N = \left(\frac{LV_0}{gH_0t} \right)^2 \quad (6)$$

Keterangan:

N : konstanta Allievi.

V_0 : kecepatan air dalam pipa pesat (m/s).

L : panjang pipa pesat (m).

H_0 : gross head (m).

t : waktu penutupan valve (s).

g : percepatan gravitasi bumi (m/s^2).

Perubahan tekanan dapat diakibatkan oleh fenomena *water hammer*. Kenaikan tekanan maksimum yang diizinkan adalah 50%. Kecepatan air yang diizinkan di dalam pipa pesat berada di antara 3 m/s sampai dengan 5 m/s. Salah satu cara untuk mencegah kerusakan pipa akibat *water hammer* adalah dengan menambah ketebalan pipa pesat. Jika penambahan ketebalan pipa tidak cukup, maka diperlukan analisis dengan perhitungan *water acceleration constant* menggunakan Persamaan 7:

$$t_h = \left(\frac{V_0 L}{gH} \right) \quad (7)$$

Keterangan:

t_h : konstanta percepatan air dalam pipa atau *water acceleration constant* (s).

V_0 : kecepatan air dalam pipa pesat (m/s).

L : panjang pipa pesat (m).

H : net head (m).

g : percepatan gravitasi bumi (m/s^2).

Nilai dari t_h yang diizinkan adalah kurang dari 6 s. Jika melebihi 6 s, maka dapat digunakan tangki pengelak (*surge tank*) atau komponen pengaman pipa pesat, seperti roda gila (*flywheel*) dan *pressure relief valve*.

4.4 Persyaratan pabrikasi pipa pesat

Panjang maksimum pipa pesat per segmen pada umumnya disesuaikan dengan kemampuan pabrikasi dalam memproduksi material pipa dan ketersediaan material di pasaran. Dimensi pipa pesat pabrikasi dipengaruhi oleh dimensi material baku dan peralatan kerja yang digunakan.

Pabrikasi pipa pesat dapat dilakukan di pabrik atau di lokasi berdasarkan kondisi akses menuju pembangkit. Beberapa hal penting yang perlu diperhatikan terkait pabrikasi pipa pesat adalah sebagai berikut:

- a. Material pipa pesat terbuat dari lembaran pelat baja menyesuaikan dengan desain yang sudah disetujui oleh konsultan atau pemilik proyek.
- b. Pabrikasi pipa pesat dengan diameter besar dibentuk dengan menyambungkan beberapa segmen menjadi satu.
- c. Apabila tidak memungkinkan untuk mengangkut satu segmen besar, maka pipa pesat dapat dibentuk menjadi beberapa segmen yang kemudian disambungkan.
- d. Untuk mempermudah instalasi di lapangan, pipa pesat keseluruhan dibagi menjadi beberapa segmen.

Langkah-langkah pabrikasi pipa pesat adalah:

- a. Penyiapan ukuran dan gambar *layout* pipa pesat.
- b. Penyiapan material.
- c. Penandaan (*marking*).
- d. Pemotongan (*cutting*).
- e. *Rolling*.
- f. Pengelasan (*welding*).
- g. Inspeksi dengan *Non-Destructive Test* (NDT).
- h. *Joint segment/pre-assembly* untuk pipa pesat berukuran besar.
- i. Pelapisan (*coating*).
- j. Inspeksi akhir (*final inspection*).

4.5 Persyaratan keberterimaan

4.5.1 Pipa baja las lurus

Pipa baja las lurus mengikuti ketentuan sebagai berikut:

- a. Pinggiran longitudinal dari lembaran atau pelat baja harus dibentuk dengan penekanan atau pengerolan sampai pada radius pipa yang benar. Dilarang memukul pinggiran dengan palu untuk menyesuaikan bentuk. Pelat atau lembaran kemudian harus dibentuk dan ditautkan sebelum dilas. Kampuh las harus mempunyai lebar dan tinggi yang seragam di seluruh panjang. Pengelasan harus dilakukan oleh operator las yang kompeten.
- b. Pipa tidak boleh memiliki cacat permukaan dengan kedalaman lebih dari 12,5% dari tebal dinding menurut spesifikasi.
- c. Pipa harus bulat. Keliling pipa bagian luar tidak boleh melebihi 1% dari keliling luar nominal.
- d. Ujung pipa harus mulus dan bebas dari takik-takik, percikan las, dan goresan.

4.5.2 Pipa baja las spiral

Pipa baja las spiral mengikuti SNI 71 dengan ketentuan sebagai berikut:

- a. Pipa tidak boleh memiliki cacat permukaan dengan kedalaman lebih dari 12,5% dari tebal dinding menurut spesifikasi.
- b. Penyok (*dent*) pada pipa tidak boleh melebihi 6,4 mm diukur sebagai jarak antara bagian terdalam penyok hingga mencapai kontur pipa aslinya. Panjang dari penyok tidak boleh lebih dari setengah diameter pipa. Untuk penyok yang terjadi karena pembentukan dingin (*cold forming*) yang memiliki kedalaman lebih dari 3,2 mm dengan cerukan tajam merupakan cacat yang harus dihilangkan dengan penggerindaan.
- c. Pipa tidak boleh memiliki bagian keras (*hard spot*) seluas $> 2580,65 \text{ mm}^2$ ke segala arah dan bagian keras yang $\geq 327 \text{ HB}$. Bagian keras akibat dari kesalahan prosedur *welding*.
- d. Tidak boleh mengandung laminasi atau inklusi yang menjalar sampai permukaan pipa atau permukaan serongan sisi pipa (*bevel*) dengan ukuran melintang melebihi 6,35 mm.

Ujung pipa dibentuk serong sisi dengan kemiringan $30^{\circ} \pm 0.5$. Diukur dari garis yang tegak lurus terhadap sumbu pipa dengan akar muka (*root face*) $1,6 \text{ mm} \pm 0,8 \text{ mm}$. Pada jarak 4 inci dari lasan bagian dalam harus digerinda sehingga rata dengan logam induk.

- e. Tidak boleh ada noda bakar busur las (*arc burns*) bagian permukaan pipa yang mengandung noda bakar busur las diperbolehkan dibersihkan dengan cara dikikis atau digerinda sampai bagian-bagian bahan yang rusak bakar hilang sama sekali. Pemeriksaan untuk mengetahui apakah bagian bahan yang rusak bakar sudah hilang sama sekali dilakukan dengan mengetsa dengan larutan 10% amonium persulfat atau dengan 5% nital. Bekas pengkikisan atau penggerindaan dapat pula diperbaiki menggunakan metode las yang sama atau dengan cara lain *submerged arc welding* (SMAW), *inert gas metal arc welding*, atau *shielded metal arc welding*. Rigi-rigi las harus diratakan dengan permukaan pipa.
- f. Takikan antara las dan bahan induk (*under cut*) pada sambungan las proses SMAW dalamnya tidak boleh melebihi 0,8 mm, dan tidak melebihi 12,5% dari tebal dinding, dengan panjang maksimum setengah tebal dinding serta tidak boleh ada lebih dua buah takik pada panjang las 300 mm.
- g. Ketidaksejajaran (*high low*) antara kedua sisi pelat yang dilas dengan cara SMAW untuk pipa dengan tebal dinding sampai dengan 12,7 mm tidak boleh lebih dari 1,6 mm dan untuk pipa dengan tebal dinding lebih dari 12,7 mm tidak boleh lebih dari 3,18 mm.
- h. Tinggi tonjolan las (*weld reinforcement*) tidak boleh melebihi ketentuan sebagai berikut:
 - 1) Tinggi tonjolan las maksimum untuk tebal dinding $\leq 12,7 \text{ mm}$ adalah 3,18 mm.
 - 2) Tinggi tonjolan las maksimum untuk tebal dinding $> 12,7 \text{ mm}$ adalah 4,76 mm.
 - 3) Tonjolan las yang tingginya melebihi ketentuan tersebut digerinda sampai tingginya mencapai batas yang ditentukan.
- i. Syarat uji mengikuti SNI 71.

5. Pintu air dan katup

5.1 Pintu air

Jenis pintu air yang digunakan pada bangunan air *inlet* pipa pesat dapat berupa *sliding gate*, *flap gate* maupun *stoplog*. *Stoplog* hanya digunakan untuk menghentikan aliran air. Untuk menghentikan aliran saat diperlukan perbaikan instalasi turbin air, disarankan penggunaan dua set *stoplog* yang dipasang secara paralel.

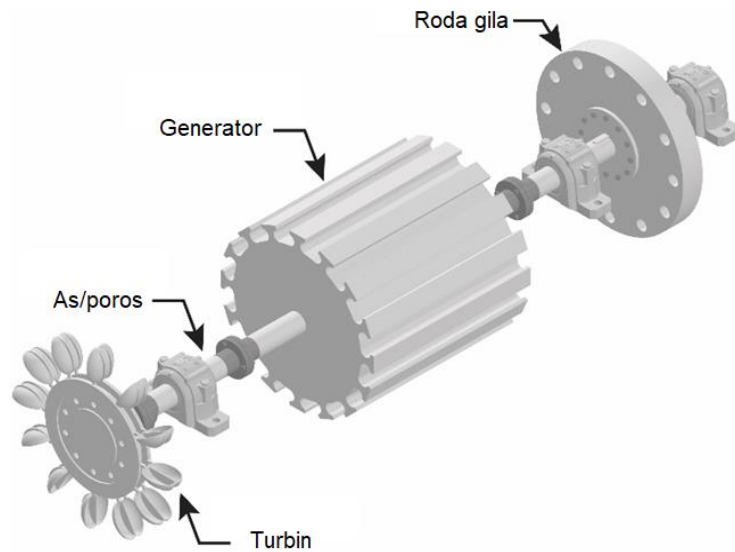
5.2 Katup air

Jenis katup air yang digunakan adalah *butterfly* atau *gate valve*. Pemilihan spesifikasi katup air berdasarkan perhitungan tekanan pada Persamaan 4.

6. Pengamanan tekanan pipa

6.1 Pemanfaatan roda gila

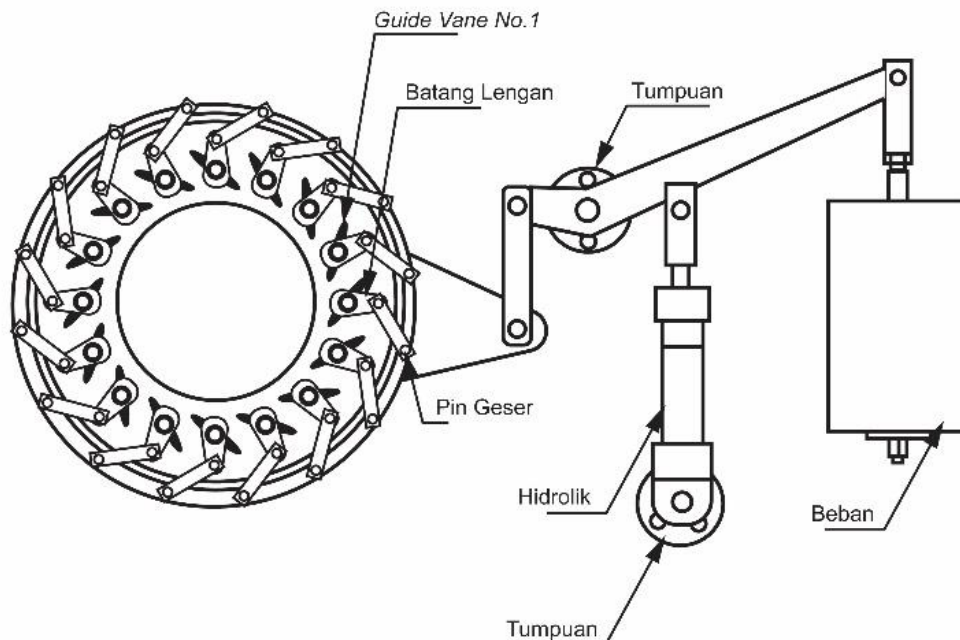
Roda gila adalah penyeimbang massa yang berputar pada unit pembangkit yang digunakan sebagai penyimpan tenaga mesin dan dapat digunakan pada saat percepatan dan perlambatan. Ilustrasi roda gila dapat dilihat (lihat Gambar 1). Kebutuhan inersia massa berputar pada unit pembangkit dapat ditentukan berdasarkan perhitungan inersia masa berputar dan inersia kolom air di pipa pesat.



Gambar 1 - Contoh massa berputar pada pembangkit

6.2 Katup pengaturan

Katup pengaturan terdiri atas *guide vane regulating ring mechanism* (lihat Gambar 2) dan *Hydraulic Power Unit* (HPU) serta dikontrol dengan kendali *Proportional-Integral-Derivative* (PID).



Gambar 2 - Ilustrasi untuk *guide vane regulating ring mechanism*

6.3 Synchronous valve (penggunaan *pressure relief valve* (PRV) dan *bypass valve* (BPV))

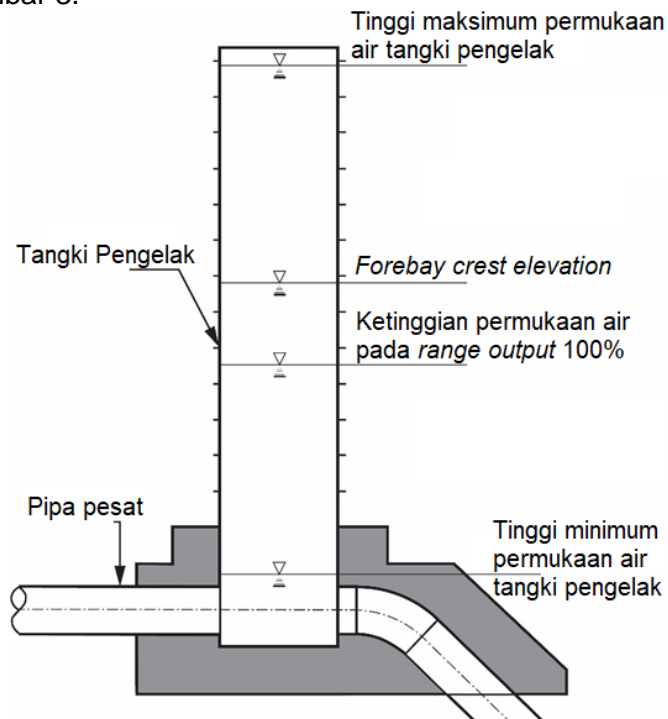
Pressure relief valve (PRV) merupakan katup yang mampu melepaskan tekanan berlebih dari pipa pesat untuk mencegah kerusakan. Ketika tekanan dalam pipa melebihi batas yang ditetapkan, maka katup akan terbuka untuk mengalihkan kelebihan air atau tekanan.

Bypass valve (BPV) berfungsi mengelola aliran air yang melewati sistem turbin. BPV memungkinkan aliran air dapat terkontrol, baik ketika perawatan maupun ketika turbin tidak beroperasi secara efisien, untuk menjaga stabilitas operasional. Dengan pengalihan kelebihan air atau pengurangan aliran air ke turbin, BPV membantu melindungi turbin dari kerusakan akibat tekanan atau aliran berlebih.

Gabungan katup pengaturan dengan PRV atau BPV disebut *synchronous valve*.

6.4 Penggunaan tangki pengelak

Tangki pengelak bertindak sebagai penyangga tekanan dan berfungsi menstabilkan sistem. Tangki pengelak memungkinkan kelebihan air masuk ke tangki saat terjadi lonjakan tekanan dan melepaskannya saat tekanan menurun. Hal ini bertujuan untuk mengurangi risiko *water hammer* dan mencegah kerusakan pada pipa pesat dan komponen lainnya. Secara keseluruhan, tangki pengelak menjaga stabilitas dan memperpanjang umur infrastruktur pembangkit listrik dengan mengelola variasi tekanan dinamis. Contoh ilustrasi tangki pengelak dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 - Contoh pemasangan struktur tangki pengelak pada pipa pesat

7. Tumpuan dan *anchor block*

7.1 Tumpuan pipa pesat

Pipa yang diinstalasi di atas tanah harus ditumpu atau diberi penyangga untuk membatasi gerak pipa saat menerima beban. Analisis rentang tumpuan pada pipa bertujuan untuk menentukan letak dan jarak optimum dari tumpuan di sepanjang pipa. Penentuan rentang tumpuan pada pipa dibatasi oleh tegangan lentur (*bending stress*) pada pipa dan lendutan dalam arah vertikal pada pipa.

Jarak tumpuan pipa pesat ditentukan berdasarkan maksimum penurunan (lendutan) yang diizinkan sebesar $L/65.000$ akibat beban sendiri maupun beban air yang mengalir. Bentangan

maksimum pada pipa pesat ditentukan oleh defleksi maksimum yang diizinkan oleh material tersebut dengan Persamaan 8:

$$L = 182,61 \times \frac{\sqrt[3]{(D + 0,0147)^4 - D^4}}{P} \dots \dots \dots (8)$$

Keterangan:

- L : jarak tumpuan maksimum (m).
- D : diameter internal pipa (m).
- P : berat unit pipa yang berisi penuh air (kg/m).

7.2 Anchor block

Anchor block berfungsi untuk mencegah perpindahan pipa akibat ekspansi termal atau tekanan internal. Struktur *anchor block* terbuat dari beton yang dirancang untuk memindahkan beban dari pipa ke permukaan yang lebih luas, sehingga membantu menstabilkan pipa dan menjaga integritas strukturalnya. *Anchor block* dipasang pada titik-titik kritis, seperti sambungan antara kolam bak penenang dan pipa pesat, atau titik pipa pesat yang terhubung ke rumah pembangkit.

Untuk memastikan fungsi dan keamanan sistem perpipaan, desain *anchor block* pada pipa harus mempertimbangkan beberapa faktor penting sebagai berikut:

- a. Kekuatan dan stabilitas tanah: Kondisi tanah di lokasi pemasangan harus dianalisis untuk memastikan bahwa kekuatannya dalam menopang beban *anchor block* dan pipa. Studi geoteknik yang melibatkan pengambilan sampel dan uji laboratorium dilakukan untuk mendapatkan data yang akurat. Dengan pengujian sondir, kekuatan tanah (q_c konus) minimum yang diperbolehkan adalah 120 kg/cm².
- b. Beban dan tekanan: *Anchor block* harus dirancang untuk menahan beban dan tekanan yang dihasilkan oleh air dalam pipa. Ini termasuk tekanan internal dari air serta beban eksternal seperti beban tanah dan beban dinamis dari aliran air.
- c. Material: Pemilihan material yang tepat sangat penting. Beton umumnya digunakan karena kekuatannya yang tinggi dan kemampuannya menahan beban besar. Namun, material lain, seperti *cyclop* (sejenis campuran semen dan batu), juga bisa dipertimbangkan tergantung pada kondisi spesifik proyek. Beton bertulang dengan mutu minimum K225 disarankan karena kekuatan fondasi.
- d. Standar dan kode desain: Mengikuti standar dan kode desain yang berlaku, seperti SNI lingkup beton.
- e. Lokasi pemasangan: *Anchor block* harus ditempatkan pada titik-titik kritis seperti tikungan, sambungan, atau perubahan elevasi dalam sistem perpipaan. Penempatan yang tepat membantu mengurangi risiko pergerakan pipa yang tidak diinginkan.
- f. Keamanan dan aksesibilitas: Desain harus mempertimbangkan akses untuk inspeksi dan pemeliharaan. Selain itu, faktor keamanan harus diprioritaskan untuk melindungi pekerja dari potensi bahaya selama instalasi dan operasi.

8. Aksesoris pipa pesat

8.1 Flange

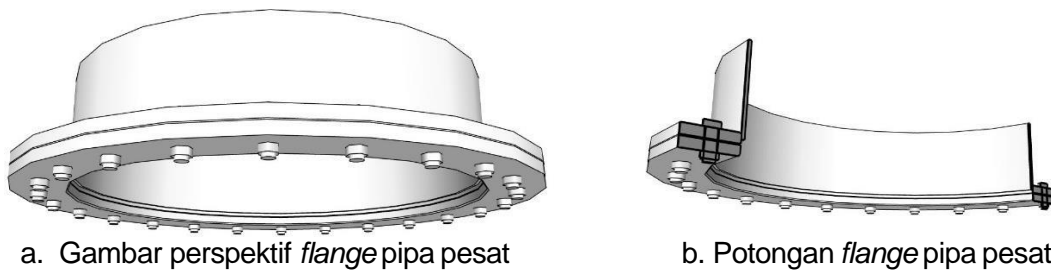
Pipa pesat umumnya memiliki ukuran pipa yang panjang, sehingga membutuhkan sambungan pada antar pipa tersebut. Banyak cara yang tersedia, namun pemilihan sambungan yang baik dapat mempertimbangkan faktor-faktor berikut ini:

- a. Sambungan yang sesuai untuk bahan pipa dipilih.
- b. Tingkat keterampilan dalam pemasangan pipa.
- c. Tingkat fleksibilitas sambungan.

- d. Biaya.
- e. Mudah dalam pemasangan.

Salah satu teknik sambungan adalah menggunakan *flange* (lihat Gambar 4). Sambungan pada pipa pesat harus memiliki kesesuaian pada ujung masing-masing pipa dengan model *flange* yang akan diikat dengan baut. Gasket atau material *packing* berbahan karet biasanya dipasang di antara pasangan *flange*. Metode ini mudah diaplikasikan dalam instalasi lapangan, namun menambah biaya pengadaan material pipa pesat. Kekurangan dari metode ini adalah minimnya fleksibilitas atau kemampuan mengakomodasi lendutan pada sambungan pipa pesat.

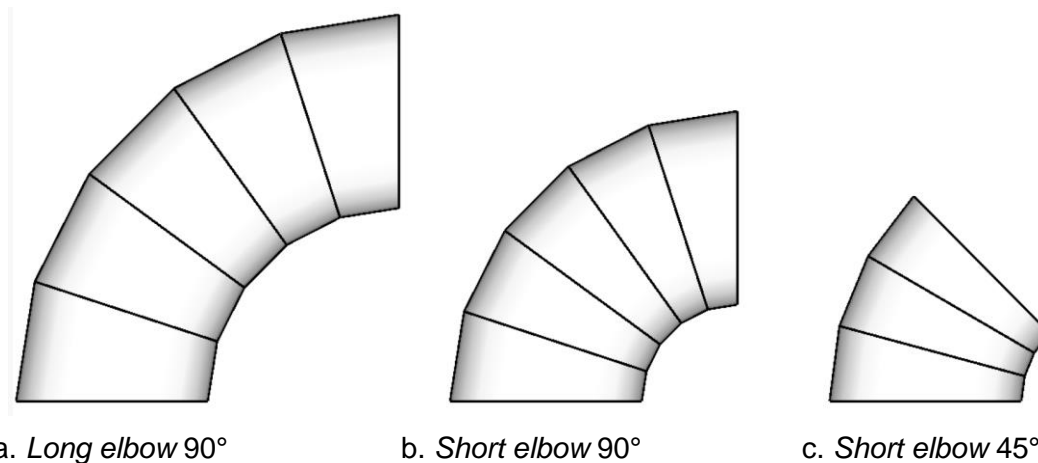
Material *flange* yang umumnya digunakan pada pipa pesat adalah besi dan baja tuang.



Gambar 4 - Contoh ilustrasi *flange*

8.2 Elbow

Pipa *elbow* merupakan jenis *fitting* pipa yang berfungsi untuk mengubah arah jalur pipa. Radius belokan *elbow* pipa minimum sama dengan diameter pipa. *Elbow* diilustrasikan melalui Gambar 5. *Elbow* dibuat dari minimum 3 segmen pipa yang dilas untuk mengurangi rugi-rugi pipa pesat. Rugi-rugi pada *long elbow* lebih kecil dari *short elbow*.



Gambar 5 - Contoh ilustrasi *elbow*

8.3 Expansion joint

Pipa pesat dapat mengalami perubahan panjang pada ujung-ujung pipa akibat perubahan temperatur. *Expansion joint* merupakan sambungan pada pipa pesat yang mengakomodasi perubahan panjang ini.

Pemuaihan dan penyusutan pipa pesat menimbulkan gaya pada *anchor block*. Oleh karena itu, perlu dipasang *expansion joint* yang dapat bergerak bebas sepanjang perubahan panjang pipa pesat. Desain umumnya adalah *slip expansion joint*, yang dipasang dekat *anchor block* di bawah *forebay*. *Expansion joint* dipasang di antara dua *anchor block*.

Penentuan panjang *expansion joint* menggunakan Persamaan 9:

$$X = \alpha(T_{hot} - T_{cold})L \dots \dots \dots (9)$$

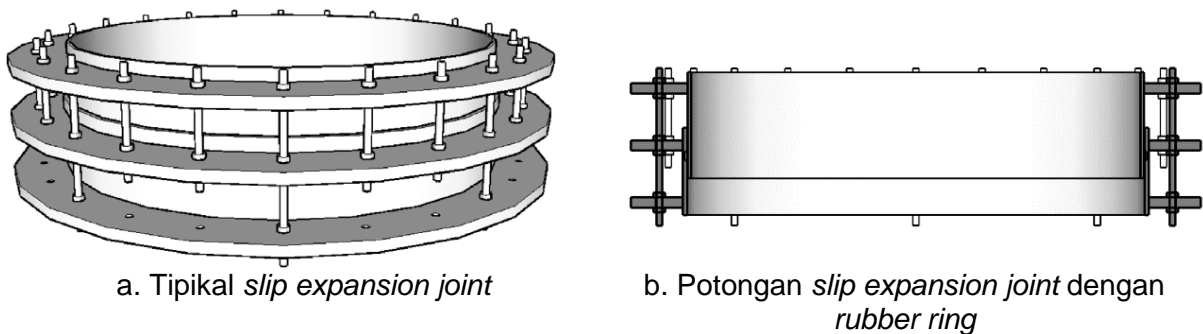
Keterangan:

- X : panjang *expansion joint* (m).
- α : *coefficient of expansion* (12,5 μm per m°C).
- L : *panjang* pipa pesat (m).
- T_{hot} : temperatur tertinggi pada pipa ($^\circ\text{C}$).
- T_{cold} : temperatur terendah pada pipa ($^\circ\text{C}$).

Expansion joint terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu:

- a. Bagian utama yang terbuat dari bahan logam seperti baja karbon atau *stainless steel* (*body*).
- b. Selongsong geser yang terpasang di dalam *body* dan dapat bergerak secara aksial untuk mengakomodasi pergerakan pipa (*sliding sleeve*).
- c. Material penyekat yang dipasang di antara *sliding sleeve* dan *body* untuk mencegah kebocoran (*gasket*).
- d. Komponen tambahan seperti baut, mur, dan *ring* untuk mengencangkan dan menyambungkan berbagai komponen *fitting*.

Spesifikasi *expansion joint* bervariasi tergantung pada aplikasinya. Faktor-faktor yang perlu dipertimbangkan dalam pemilihan *expansion joint* antara lain diameter pipa, tekanan kerja, suhu kerja, pergerakan aksial maksimum dan material. *Expansion joint* diilustrasikan melalui Gambar 6.



Gambar 6 - Contoh ilustrasi *expansion joint*

8.4 *Dismantling joint*

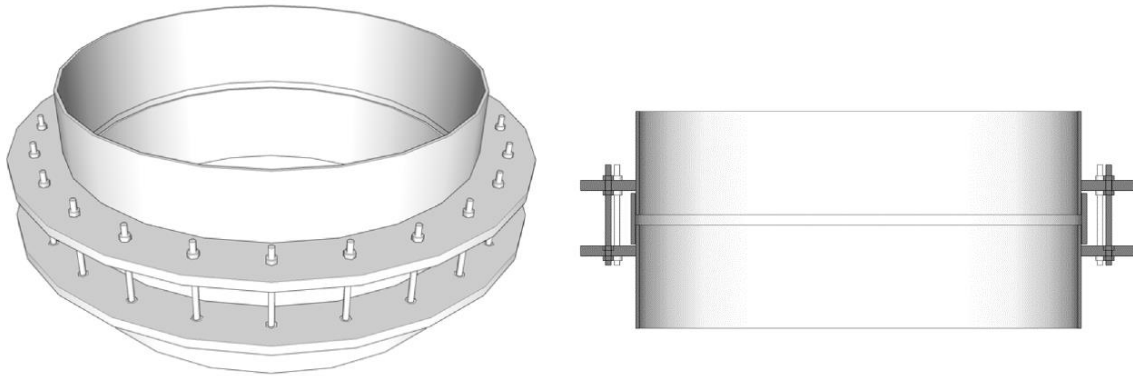
Dismantling joint berfungsi untuk mempermudah pembongkaran dan pemasangan pipa, khususnya di area sempit, saat inspeksi atau pemeliharaan. *Dismantling joint* biasa dipasang di antara *anchor block* dan MIV.

Komponen utama *dismantling joint* adalah:

- a. Bagian utama yang terbuat dari bahan logam tahan karat seperti baja karbon atau *stainless steel* (*body*).
- b. Pelat berlubang yang terpasang pada kedua ujung *body* untuk menghubungkan pipa (*flange*).
- c. Material penyekat (*gasket*) yang dipasang di antara *flange* untuk mencegah kebocoran.

- d. Komponen tambahan seperti baut, mur, dan *ring* untuk mengencangkan dan menyambungkan berbagai komponen (*fitting*).

Pemilihan *dismantling joint* yang tepat sangat penting untuk memastikan kinerja dan keandalan sistem perpipaan. Faktor-faktor yang dapat dipertimbangkan dalam pemilihan *dismantling joint* antara lain diameter pipa, tekanan kerja, suhu kerja, dan material. *Dismantling joint* diilustrasikan melalui Gambar 7.



a. Contoh tipikal *dismantling joint*

b. Gambar potongan *dismantling joint*

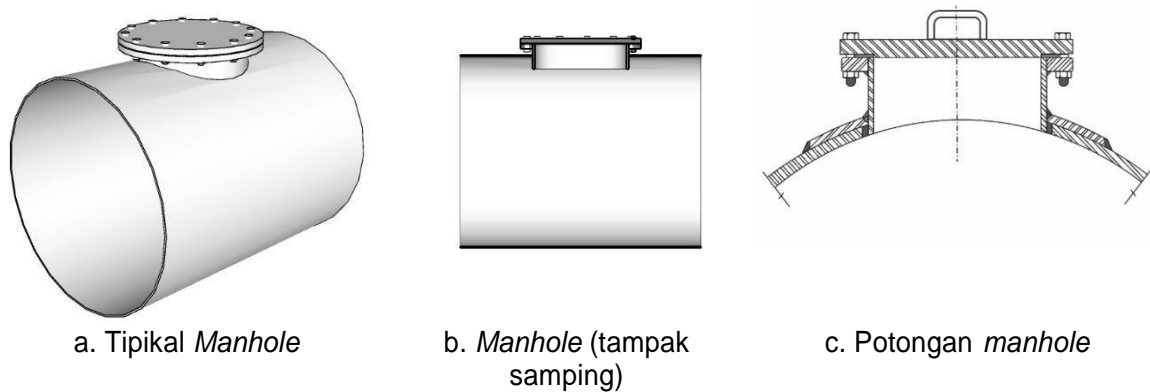
Gambar 7 - Contoh ilustrasi *dismantling joint*

8.5 Manhole

Penggunaan *manhole* pada pipa pesat mempertimbangkan beberapa hal berikut:

- Manhole* dapat dibuat di sepanjang pipa pesat dengan jarak tertentu sebagai akses masuk ke bagian dalam pipa pesat sehingga memudahkan proses inspeksi, pemeliharaan, dan perbaikan.
- Diameter umum *manhole* adalah 500 mm dan *manhole* biasanya dipasang dengan interval jarak 100 m sampai dengan 150 m. Untuk memudahkan akses masuk, *manhole* dipasang pada bagian atas permukaan atau pada bagian samping. Contoh *manhole* bisa dilihat pada Gambar 8.
- Manhole* untuk inspeksi dan pekerjaan pemeliharaan harus ditempatkan pada lokasi yang memudahkan ventilasi udara, keluar masuk material, dan akses manusia.
- Manhole* umumnya terdiri dari kepala *nozzle* lingkaran, *flange*, pelat penutup, baut pengunci, dan *seal gasket*. Seluruh komponen tersebut harus didesain dengan memperhitungkan tekanan air dalam pipa pesat pada saat kondisi diam, beroperasi, dan ketika terjadi *water hammer*.
- Pipa harus mendapatkan penguatan pada area *manhole* dengan penambahan pelat penguatan pada area yang bersebelahan dengan kepala *nozzle*. Luas area penguatan paling sedikit 5% sampai dengan 10% lebih besar dari luas area cangkang pipa.

Manhole diilustrasikan melalui Gambar 8.



Gambar 8 - Contoh ilustrasi *manhole* pada pipa pesat

8.6 Percabangan pipa pesat

Percabangan pipa pesat digunakan untuk membagi aliran dari pipa pesat utama menuju pipa pesat yang terhubung dengan turbin. Jarak antara percabangan dan turbin ditentukan oleh jumlah turbin yang digunakan, tebal pipa, dan diameter pipa. Percabangan pipa pesat tergantung pada jumlah unit pipa pesat yang akan dibagi alirannya, misalnya percabangan dua pipa atau lebih. Contoh percabangan dua pipa bisa dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9 - Contoh percabangan dua pipa pesat

Percabangan dapat berbentuk simetris dan asimetris. Pada percabangan simetris, aliran air terbagi secara merata pada masing-masing pipa pesat setelah titik percabangan. Sedangkan pada percabangan asimetris, pembagian aliran airnya tidak merata.

Pada pipa pesat, sudut percabangan merupakan salah satu faktor yang dapat mempengaruhi *head loss*. Untuk menahan tegangan yang terjadi pada pelat pipa pesat, percabangan diperkuat dengan *external girder* dan *stiffner ring*.

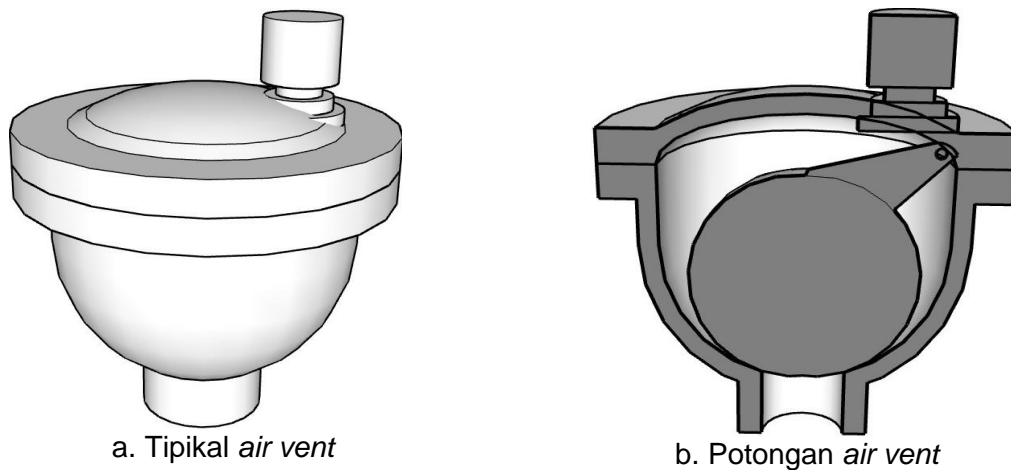
8.7 Pipa nafas

Penutupan pintu *intake* pipa pesat dapat menimbulkan tekanan negatif dalam pipa pesat. Pemasangan pipa nafas (*ventilation pipe*) di sebelah pintu air dapat mengurangi risiko tekanan negatif dalam pipa pesat. Udara akan terhisap melalui pipa nafas sehingga tekanan negatif akan berkurang. Selain itu, pipa nafas juga membuang udara yang terjebak dalam aliran air. Ujung pipa nafas harus lebih tinggi dari tinggi bak penenang ditambah dengan kenaikan muka air akibat *water hammer*, yaitu sekitar 50 cm.

8.8 Air vent

Air vent adalah perangkat hidromekanis khusus yang berperan penting dalam menjaga kelancaran aliran pada pipa pesat. *Air vent* berfungsi untuk melepaskan akumulasi gas atau memasukkan udara ke dalam pipa selama berbagai operasi seperti pengisian, pengurasan, atau pengoperasian reguler. Pengoperasian yang aman dan efisien memerlukan pembuangan udara secara terus-menerus karena udara dapat terperangkap dalam pipa. Dalam proses ini, kantong-kantong udara yang terperangkap dapat terbentuk di dalam pipa. Kantong gas udara akan sulit dideteksi dan bisa mengurangi efisiensi aliran pipa. Kantong udara juga dapat menyebabkan masalah *water hammer*, pipa pecah, kebisingan sistem dan korosi pipa. Udara di dalam pipa juga dapat menyebabkan pengoperasian komponen lainnya menjadi tidak stabil.

Air vent harus dipasang secara strategis di lokasi tertentu dalam sistem distribusi air untuk mengelola pembentukan kantong udara dan vakum secara efektif. *Air vent* dapat dipasang pada bagian hulu pipa pesat, di hilir pipa pesat, di dekat katup kontrol dan di sekitar percabangan. Contoh *air vent* bisa dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10 - Contoh ilustrasi *air vent* pipa pesat

8.9 Filling pipe

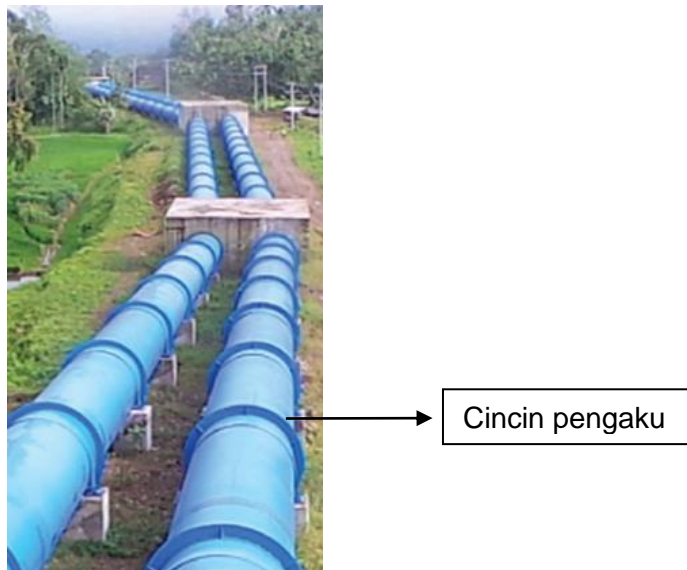
Pipa pesat harus diisi dengan air hingga penuh sebelum dioperasikan. Pengisian air dilakukan melalui *filling pipe*. Debit air yang masuk harus diatur secara perlahan untuk menghindari tekanan tiba-tiba dan efek *water hammer*. Proses tersebut akan menciptakan stabilitas tekanan ketika membuka dan menutup pintu air dan *valve*. Pipa saluran pengisian dengan *control valve* harus terpasang sejajar dengan sisi *intake* pipa pesat dan harus mampu menyalurkan air dengan debit yang tepat untuk mengisi penuh pipa pesat sesuai dengan waktu yang telah ditentukan, disesuaikan dengan panjang dan diameter pipa pesat.

**Lampiran A
(informatif)
Aksesoris Pipa Pesat**

A.1 Ring girder

Ring girder atau cincin pengaku pada pipa pesat adalah komponen struktur yang digunakan untuk memperkuat dan menstabilkan pipa pesat, terutama pada pembangkit listrik tenaga air. Beberapa hal terkait *ring girder* adalah sebagai berikut:

- a. *Ring girder* berfungsi sebagai cincin pengaku untuk menambah kekuatan dan kekakuan pada pipa pesat, mencegah deformasi akibat tekanan internal dan beban eksternal.
- b. *Ring girder* biasanya terbuat dari bahan yang sama dengan pipa pesat, seperti baja atau beton, dan dipasang secara melingkar di sekitar pipa pada interval jarak tertentu.
- c. Lokasi pemasangan *ring girder* berada pada titik-titik kritis di sepanjang pipa pesat, seperti di dekat sambungan atau di tempat-tempat di mana pipa mengalami perubahan arah atau diameter.
- d. *Ring girder* pada pipa pesat dapat menahan tekanan yang lebih tinggi dan mengurangi risiko kerusakan struktural, sehingga meningkatkan umur pakai dan keandalan sistem.



Gambar A.1 - Cincin pengaku pada pipa pesat.

Bibliografi

- [1] SNI 03-2408:1991, Pengecatan logam, Tata cara.
- [2] SNI 07-2225:1991, Pipa baja saluran air.
- [3] SNI 8397:2017, Panduan pra studi kelayakan dan studi kelayakan pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH).
- [4] SNI 9114:2022, Metode perhitungan potensi energi air.
- [5] Adam Harvey. *Microhydro Design Manual, A guide to small scale water power schemes. Intermediate Technology Publication. London. 1993.*
- [6] *Guide on How to Develop a Small Hydropower Plant. European Small Hydropower Association – ESHA. 2004.*
- [7] Karl Terzaghi, Ralph B. Peck, Gholamreza Mesri. *Soil Mechanics in Engineering Practice*, Third Edition. John Wiley & Sons. 1996.
- [8] Water Conductor System Sectional Committee, RVD 14. IS11639 (Part 3):1996 (Reaffirmed 2001), ICS 23.040;93.160, *Indian Standard, Structural Design of Penstock – Criteria, Part 3 Specials for Penstock. Bureau of Indian Standards. New Delhi. July 1996.*

Informasi perumus SNI

[1] Komite Teknis Perumusan SNI

Komite Teknis 27-03 Aneka Energi Baru dan Energi Terbarukan

[2] Susunan keanggotaan Komite Teknis Perumusan SNI

- Ketua : Indra Djodikusumo
- Wakil Ketua : Aris Sudarto
- Sekretaris : Nono Suprayetno
- Anggota : 1. Sentanu Hindrakusuma
2. Fachri Koeshardono
3. Yanda Prakasa
4. Hendro
5. Nanang
6. Djoko Susanto
7. Rega Yonda Hanifi
8. Resmon Sipahutar
9. Aditya Sage Pamungkas

[3] Konseptor rancangan SNI

1. Indra Djodikusumo
2. Aris Sudarto
3. Sentanu Hindrakusuma
4. Fachri Koeshardono
5. Yanda Prakasa
6. Nanang
7. Djoko Susanto
8. Rega Yonda Hanifi
9. Aditya Sage Pamungkas
10. Nono Suprayetno
11. Resmon Sipahutar
12. Hanny Berchmans

[4] Sekretariat pengelola Komite Teknis Perumusan SNI

Direktorat Aneka Energi Baru dan Energi Terbarukan
Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan, dan Konservasi Energi
Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral