

ANALISA KEKUATAN MATERIAL PADA PIPA DALAM TANAH

Suyatno

Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri dan Kebumihan
Universitas Sains dan Teknologi Jayapura
Email : suyatnoarief@yahoo.com

Abstrak

Pipa merupakan konstruksi penting dalam bidang industri yang berfungsi sebagai saluran distribusi. Dalam penggunaannya masalah yang sering terjadi adalah masalah kebocoran. Kondisi kebocoran tentunya dapat mengganggu produktifitas industri dan dapat membahayakan masyarakat di lokasi sekitar terjadinya kebocoran pipa. Umumnya kebocoran terjadi karena kekuatan material pipa tidak dapat menahan pembebanan yang terjadi akibat kondisi operasionalnya. Untuk menghindari kebocoran atau kegagalan material perlu dilakukan kajian mengenai kekuatan material pipa.

Pada penelitian ini dilakukan analisa kekuatan material pada pipa dalam tanah. Pipa yang dianalisa adalah pipa bend 45° dengan kedalaman 1 meter dari permukaan tanah, yang bekerja sebagai saluran air dengan tekanan aliran 4 bar, diameter pipa 609,6 mm, tebal 12,70 mm dan material pipa adalah carbon steel JIS G3444-STK 41. Prosedur penelitian yang dilakukan adalah dengan menganalisa beban berupa gaya berat tanah, berat dan tekanan air. Dengan adanya pembebanan tersebut akan menimbulkan tegangan pada desain pipa. Prosedur berikutnya adalah dengan menganalisa tegangan gabungan pada suatu titik, menentukan tegangan utama dan tegangan equivalen. Nilai tegangan equivalen yang didapatkan dibandingkan dengan tegangan yang diijinkan oleh material pipa. Bila tegangan equivalen yang terjadi lebih besar dari tegangan ijin material pipa maka akan terjadi kegagalan. Namun sebaliknya bila lebih kecil dari tegangan ijinnya berarti kondisi pipa dalam kondisi aman.

Berdasarkan data hasil perhitungan analisa tegangan didapatkan tegangan equivalen tersebar adalah sebesar 18,19 MPa yang terjadi pada irisan penampang di pusat lengkungan pipa. Nilai tegangan equivalen kritis tersebut lebih kecil dari tegangan ijin material pipa yaitu sebesar 123,92 MPa. Kondisi ini menunjukkan bahwa pipa berada dalam kondisi aman.

Kata kunci : Kebocoran pipa, analisa kekuatan material, aman.

1. PENDAHULUAN

Pipa merupakan salah satu konstruksi penting dalam bidang teknik. Pada umumnya pipa berfungsi sebagai saluran distribusi. Biasanya, dalam bidang industri pipa sering digunakan untuk saluran air pendingin, cerobong asap, saluran pembuangan dan saluran-saluran bertekanan (seperti pada pipa minyak dan pipa gas).

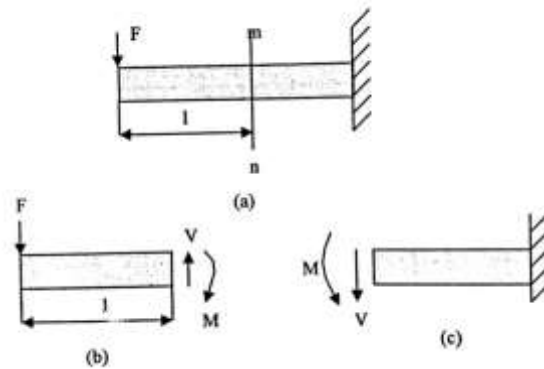
Masalah yang sering terjadi dalam penggunaan pipa adalah masalah kebocoran, kebocoran pada pipa tentunya dapat mengganggu produktifitas industri serta dapat membahayakan masyarakat di lokasi sekitar terjadinya kebocoran pipa.

Masalah kebocoran pipa atau kegagalan suatu material, pada umumnya disebabkan karena kekuatan material tidak dapat menahan pembebanan yang terjadi dalam kondisi operasionalnya.

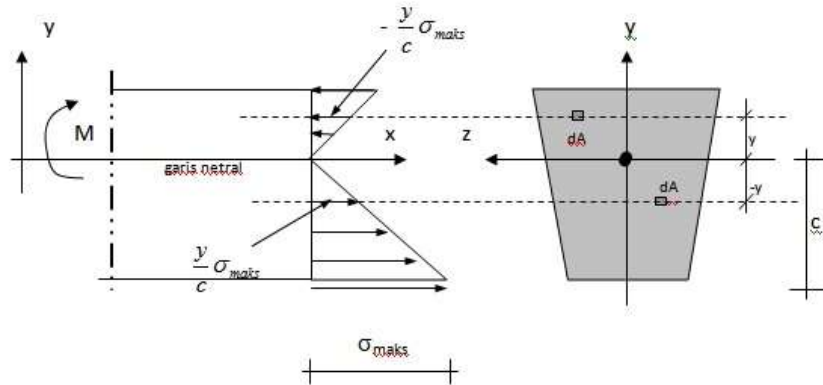
Untuk menghindari kejadian kebocoran tersebut perlu adanya kajian lebih mendalam mengenai kekuatan material pipa sehubungan dengan pembebanan yang terjadi dalam kegiatan operasional pipa.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui distribusi tegangan yang terjadi pada pipa, dan untuk mengetahui berapa batas tegangan maksimum yang mampu diterima oleh pipa sehingga pipa dapat bekerja dengan aman tanpa mengakibatkan kegagalan pada material pipa.

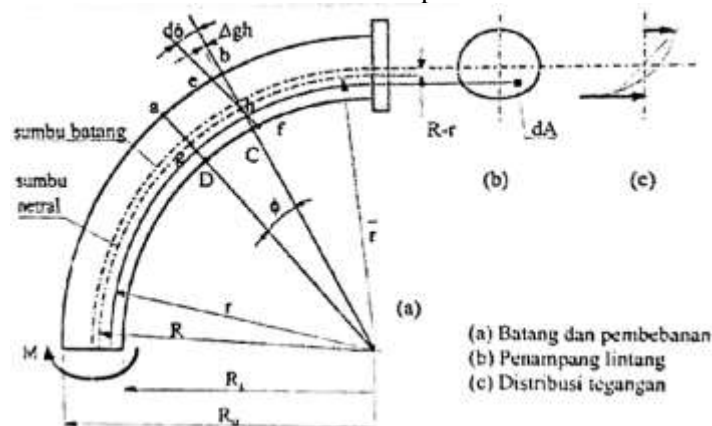
Apabila sebuah balok dibebani oleh beberapa buah gaya atau kopel maka akan tercipta sejumlah tegangan dan regangan internal.



Gambar 1. Resultan tegangan V dan M



Gambar 2. Lenturan pada balok



Gambar 3. Batang lengkung yang melentur murni

Persamaan keseimbangan statis yang digunakan pada segmen balok adalah:

$$\sum M_z = 0$$

$$M = \int_A \left(-\frac{y}{c} \sigma_{\max}\right) dAy = -\frac{\sigma_{\max}}{c} \int_A y^2 dA$$

Tegangan normal yang bekerja pada elemen luas penampang batang lengkung

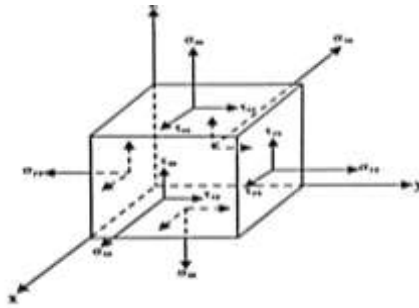
$$\sigma = E \epsilon = E \frac{(R-r)d\phi}{r\phi}$$

Tegangan normal yang bekerja pada batang lengkung dengan jarak r dari pusat kelengkungan adalah:

$$\sigma = \frac{M(R-r)}{rA(r-R)}$$

Untuk batang melengkung berpenampang lingkaran, jarak dari pusat lengkungan ke sumbu netral adalah :

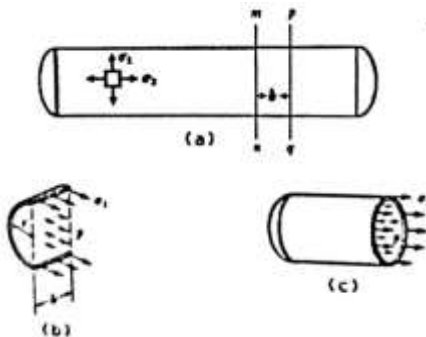
$$R = \frac{r + \sqrt{r^2 - C^2}}{2}$$



Gambar 4. Status tegangan yang bekerja pada sebuah elemen kecil

Besar dan arah tegangan pada suatu titik dalam sebuah elemen tergantung pada orientasi bidang yang dilalui oleh titik tersebut. Besarnya tegangan utama untuk kasus tegangan dua dimensi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan lingkaran Mohr.

$$\sigma_{1,2} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$



Gambar 5. Tegangan-tegangan dalam bejana bidang tipis

Metode desain yang lazim dalam menentukan tegangan ijin adalah dengan menerapkan faktor keamanan pada tegangan luluh (*yield stress*) atau pada tegangan batas (*ultimate stress*). Secara matematis tegangan ijin suatu struktur adalah:

$$\sigma_{ijin} = \frac{\sigma_u}{N}, \text{ atau } \sigma_{ijin} = \frac{\sigma_y}{N}$$

Maximum *distortion energy theory* menyatakan kegagalan akan terjadi pada material akibat tegangan multiaksial bila *distortion energy* per unit volume lebih besar atau sama dengan *distortion energy* per unit volume pada saat simple test.

$$\sigma_{eq} = \frac{\sqrt{2}}{2} \left\{ (\sigma_2 - \sigma_1)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 + (\sigma_3 - \sigma_2)^2 \right\}^{1/2}$$

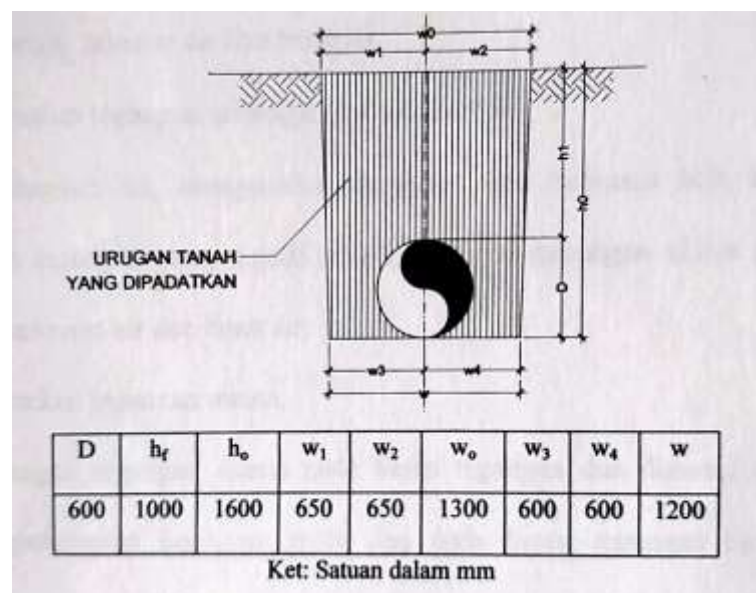
2. METODE PENELITIAN

Pengamatan yang dilakukan berupa pengambilan data dari desain yang ada dan pengolahan data dilakukan secara matematis sesuai persyaratan ilmu mekanika kekuatan material.

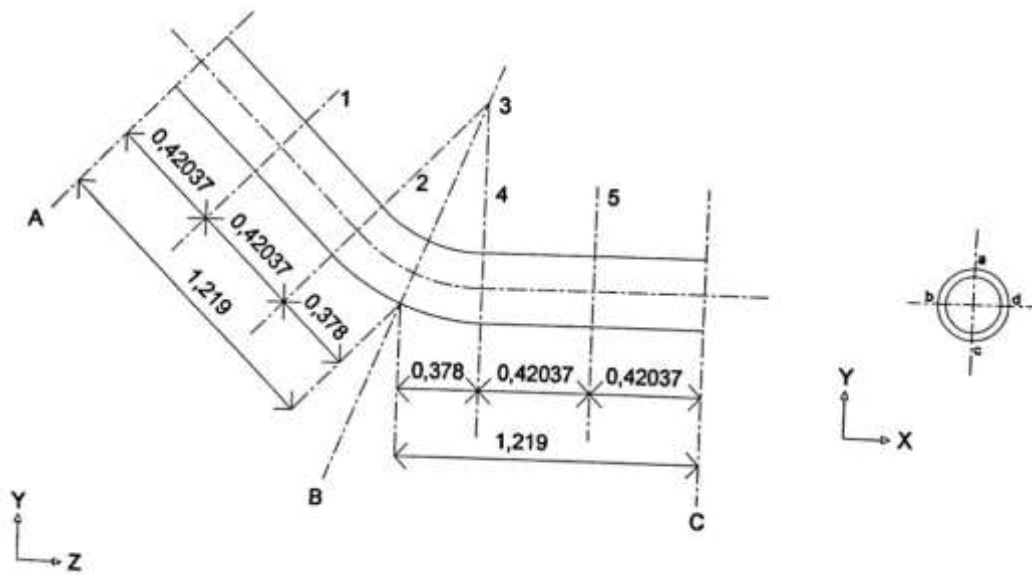
Data yang diambil berupa data spesifikasi dari desain pipa yang ada seperti diameter pipa (D), tebal dinding pipa (t), bahan/material yang digunakan, besar tekanan (P) yang diberikan dan letak pipa dalam tanah, kemudian dianalisa tegangan-tegangan yang terjadi pada pipa yang terletak dalam tanah pada posisi belokan. Penelitian dilakukan dengan menganalisa pembebanan pipa, menganalisa tegangan gabungan pada suatu titik, menentukan tegangan utama, menentukan tegangan ekuivalen dan menganalisa kekuatan material.

Tabel 1. Spesifikasi pipa

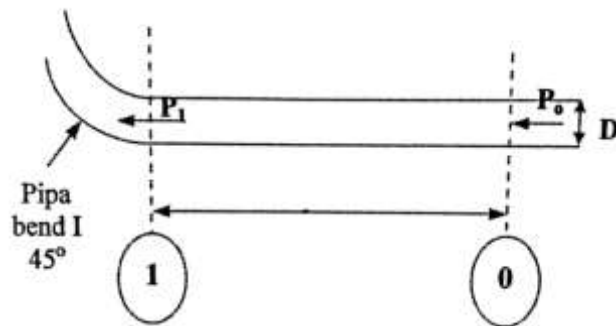
Data-data spesifikasi pipa			
P (bar)	t (mm)	D (mm)	Bahan
4	12,7	609,6	Carbon steel JIS G3444-STK 41



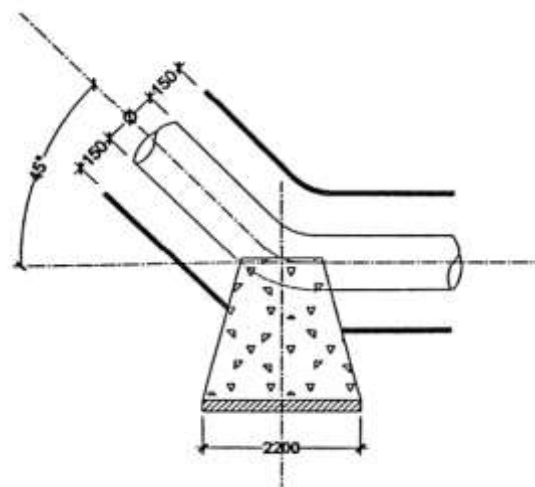
Gambar 6. Letak pipa dalam tanah



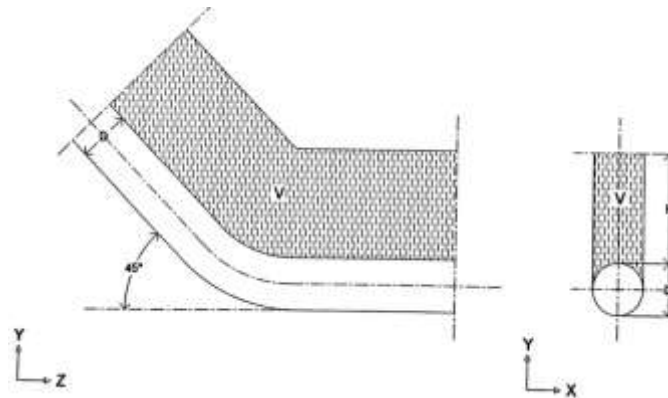
Gambar 7. Letak irisan penampang dan titik yang dianalisa



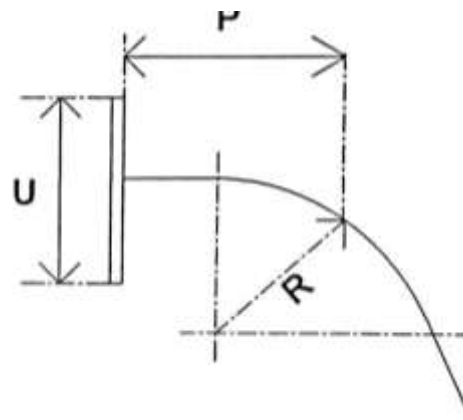
Gambar 8. Skema tekanan aliran pada pipa



Gambar 9. Pemasangan Thrust blok pada flange bend 45°

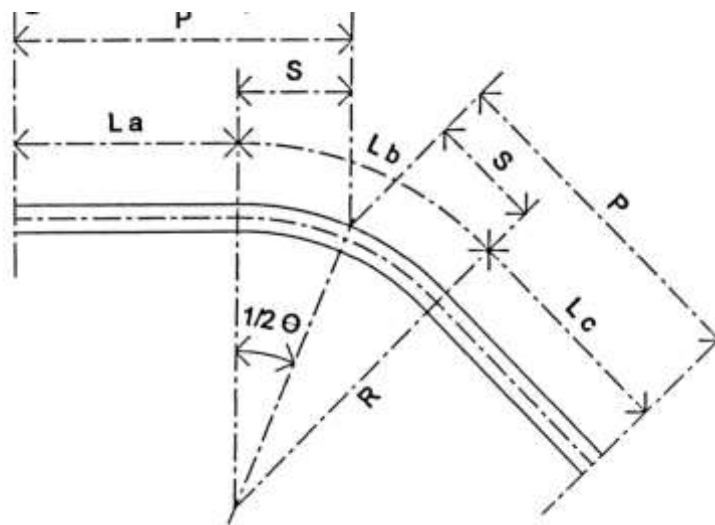


Gambar 10. Volume pipa di atas tanah

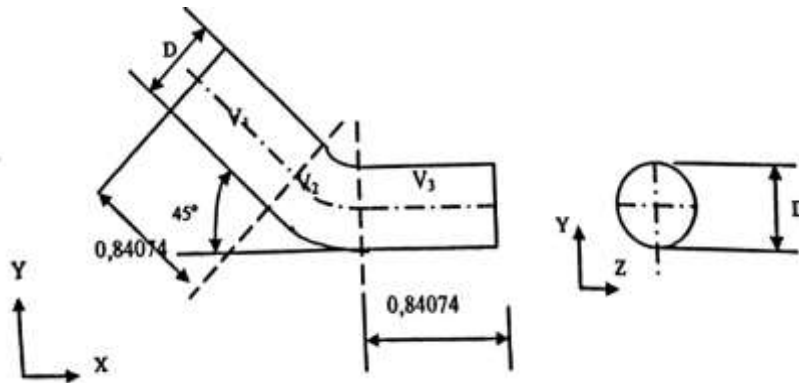


- U = Lebar flens = 1029 mm
- P = Panjang pipa sampai pada pusat lengkung = 1219 mm
- R = Radius kelengkungan pipa = 913,2 mm

Gambar 11. Ukuran standar untuk pipa bend 45⁰ dengan diameter 609,6 mm



Gambar 12. Ukuran detail bend

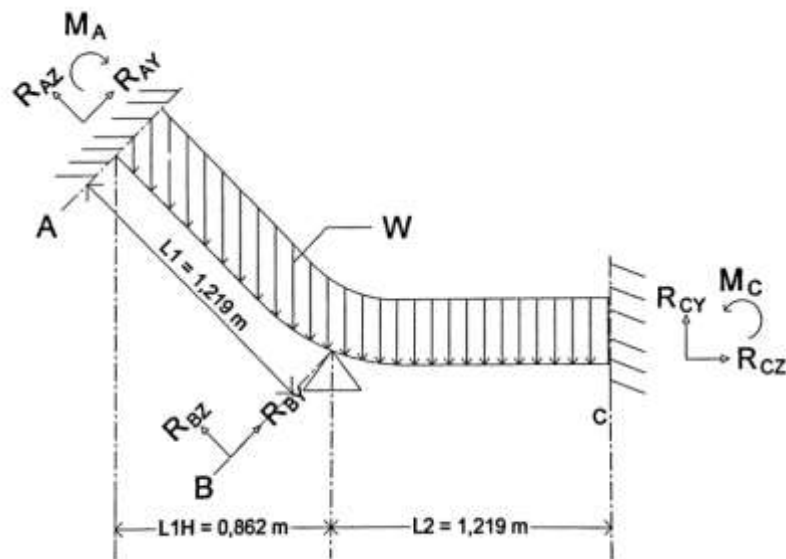


Gambar 13. Volume air dalam pipa

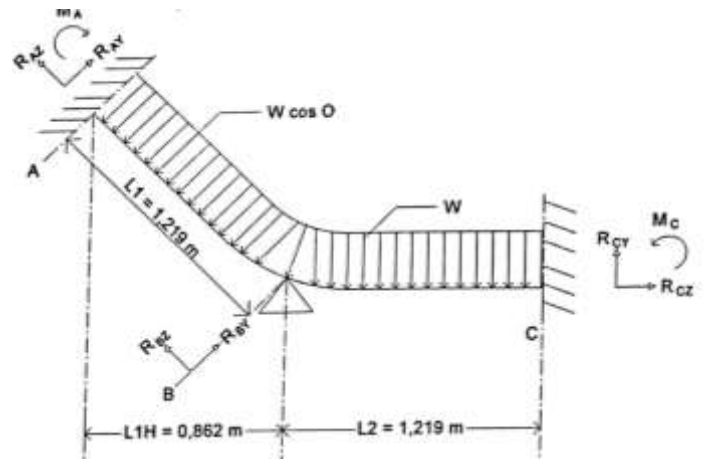
Tabel 2. Data geoteknik

Parameter	Lokasi		
	I	II	III
Kadar air (%)	16,16	15,18	13,57
Specific gravity	2,04	2,07	2,04
Index of plasticity (%)	10,58	10,01	9,73
Shear angle (°)	19	11,23	22,38
Kohesi (kg/cm)	0,05	0,12	0,009

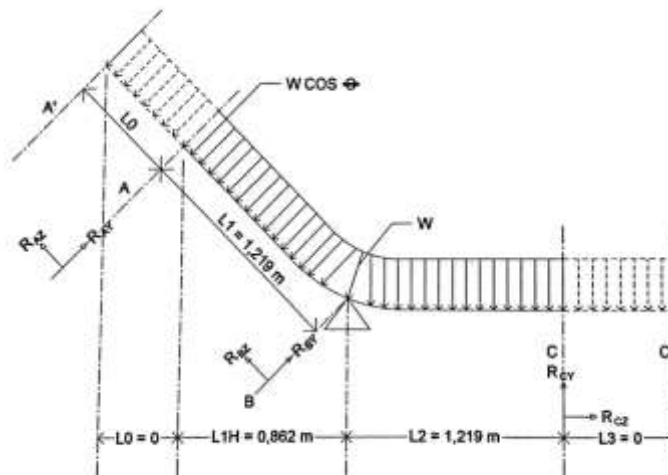
3. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN



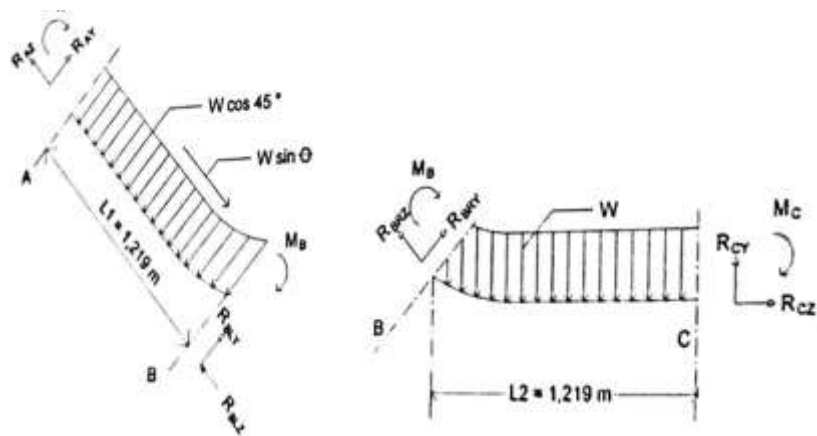
Gambar 14. Diagram benda bebas akibat gaya berat tanah terhadap reaksi gaya pada pipa



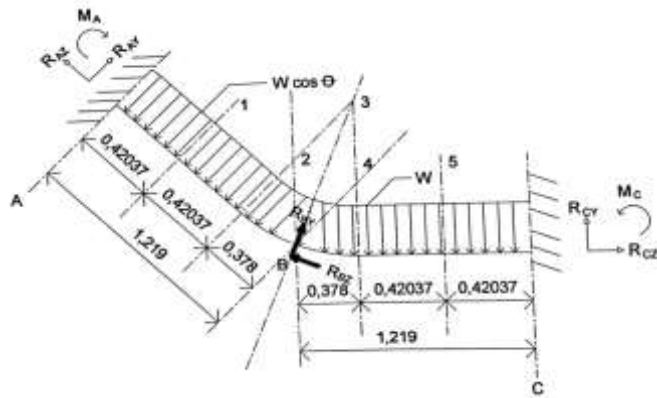
Gambar 15. Diagram benda bebas akibat gaya berat tanah



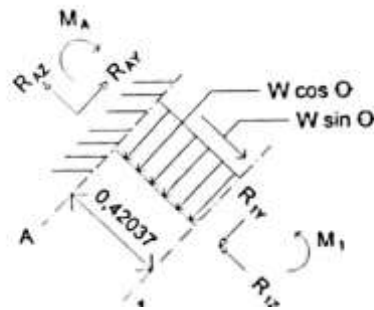
Gambar 16. Diagram benda bebas dengan imajiner



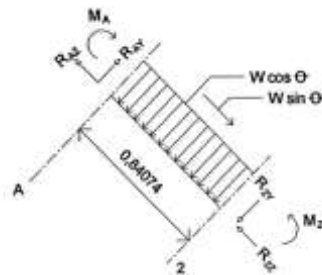
Gambar 17. Diagram benda bebas pada bentangan AB dan BC



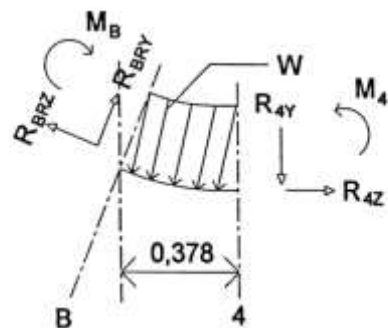
Gambar 18. Diagram benda bebas pada irisan penampang yang dianalisa



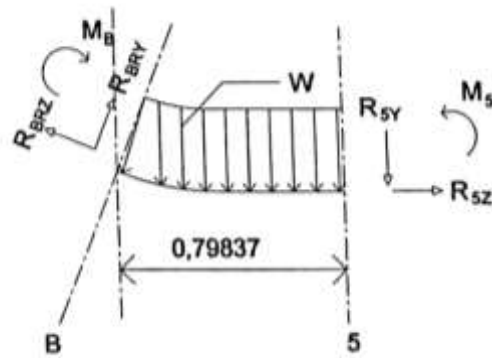
Gambar 19. Diagram benda bebas pada bentangan A-1



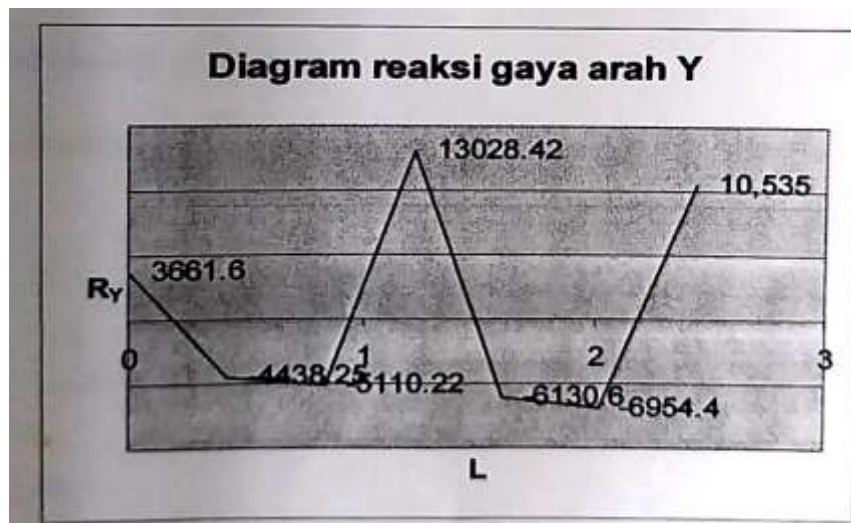
Gambar 20. Diagram benda bebas pada bentangan A-2



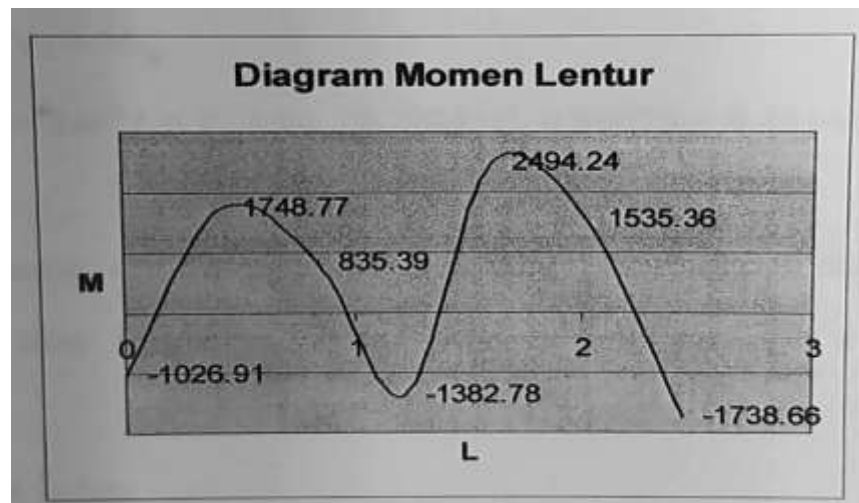
Gambar 21. Diagram benda bebas pada bentangan B-4



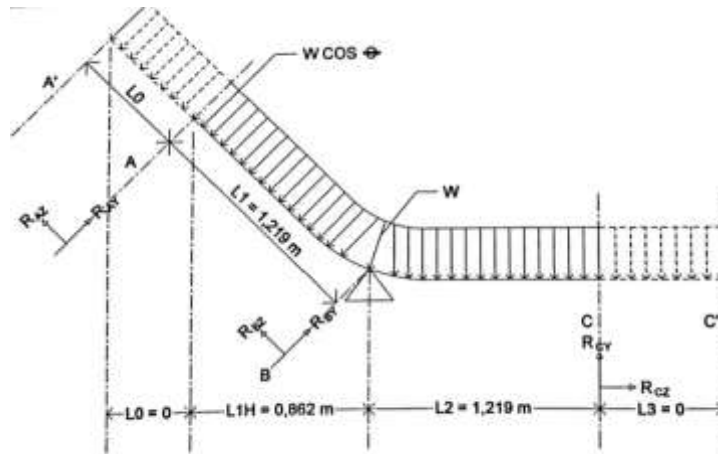
Gambar 22. Diagram benda bebas pada bentangan B-5



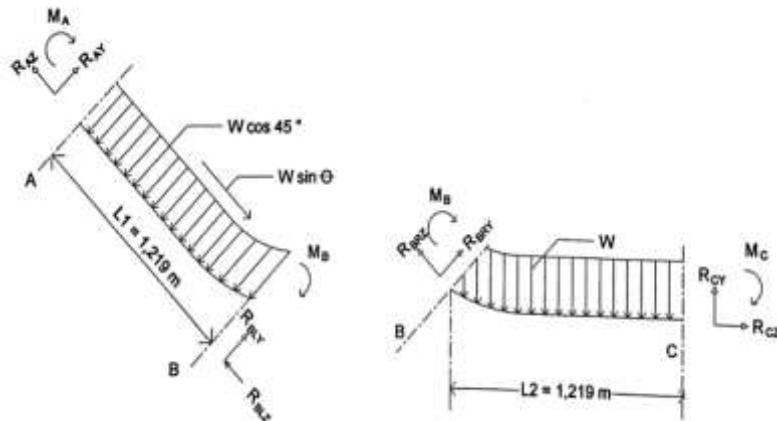
Gambar 23. Diagram reaksi gaya akibat berat tanah.



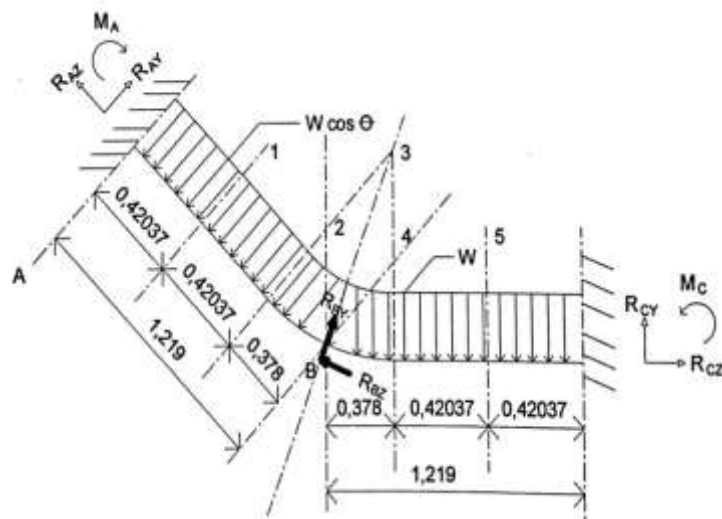
Gambar 24. Diagram momen lentur akibat berat tanah



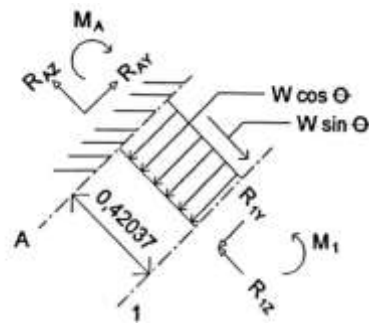
Gambar 25. Diagram benda bebas akibat gaya berat air



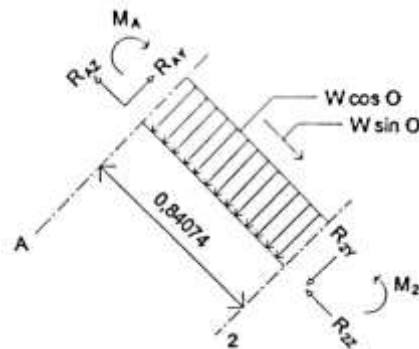
Gambar 26. Diagram benda bebas pada bentangan AB dan BC



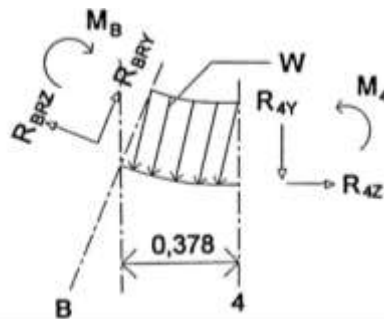
Gambar 27. Diagram benda bebas pada irisan yang dianalisa



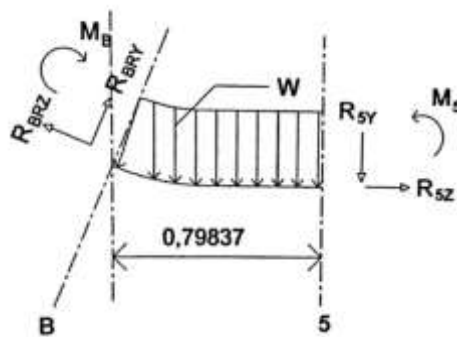
Gambar 28. Diagram benda bebas pada bentangan A-1



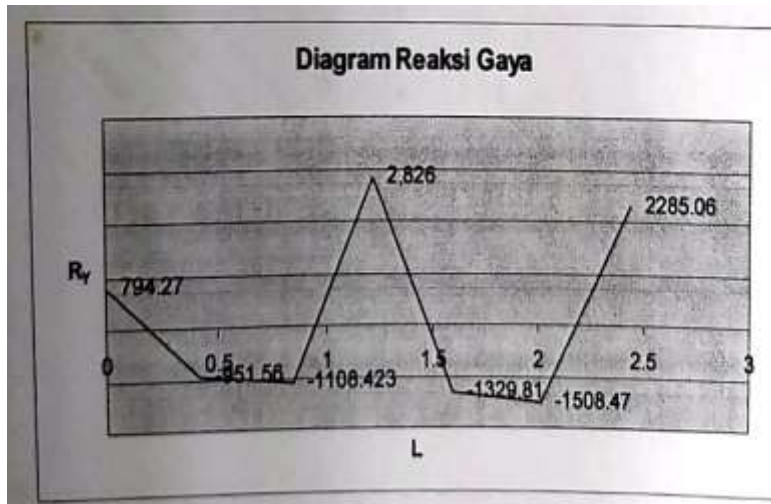
Gambar 29. Diagram benda bebas pada bentangan A-2



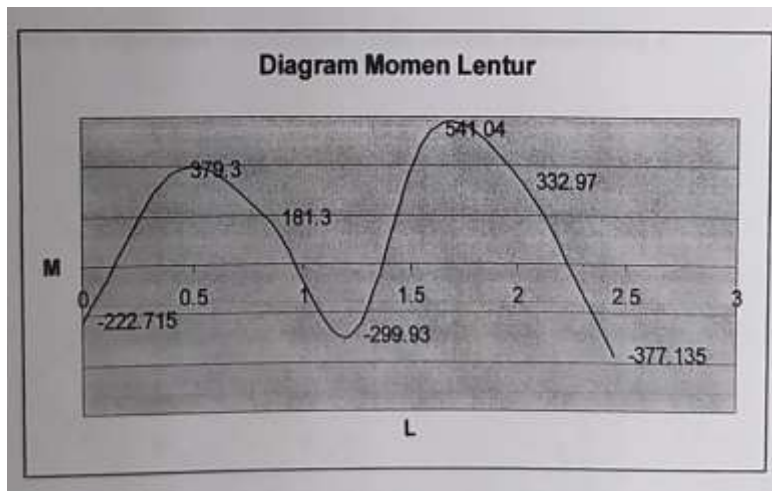
Gambar 30. Diagram benda bebas pada bentangan B-4



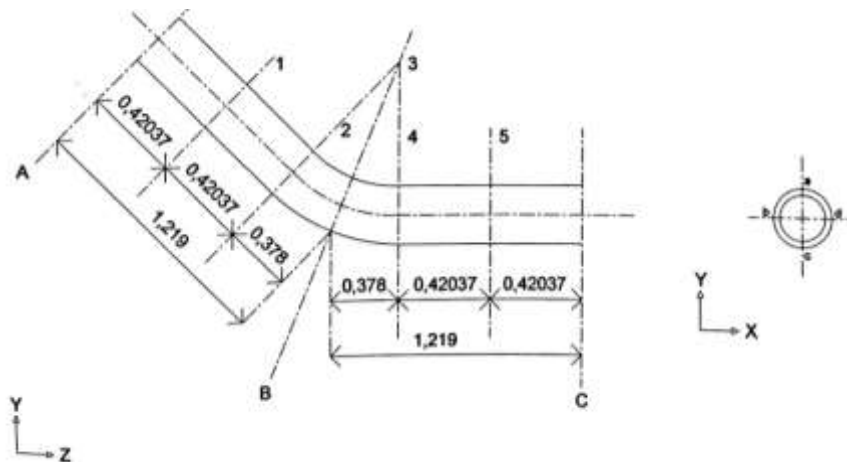
Gambar 31. Diagram benda bebas pada bentangan B-5



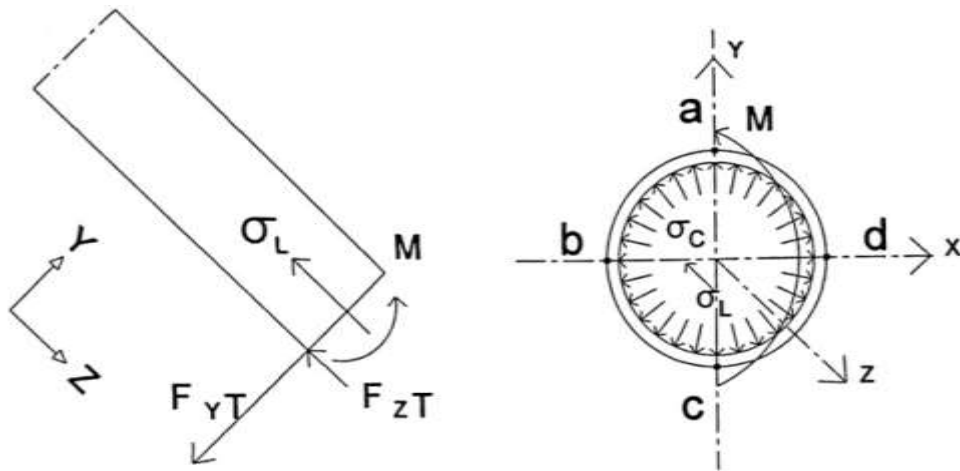
Gambar 32. Diagram reaksi gaya akibat berat air



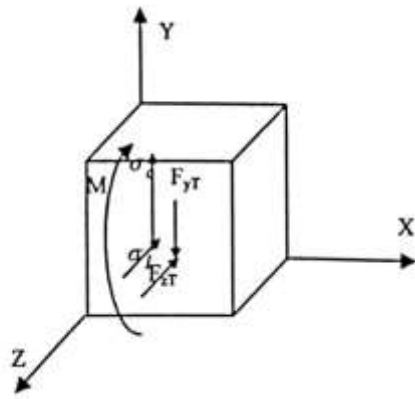
Gambar 33. Diagram momen lentur akibat berat air



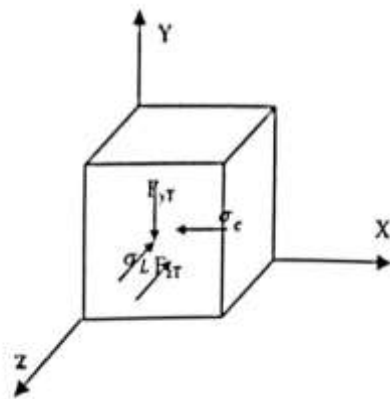
Gambar 34. Irisan penampang yang dianalisa



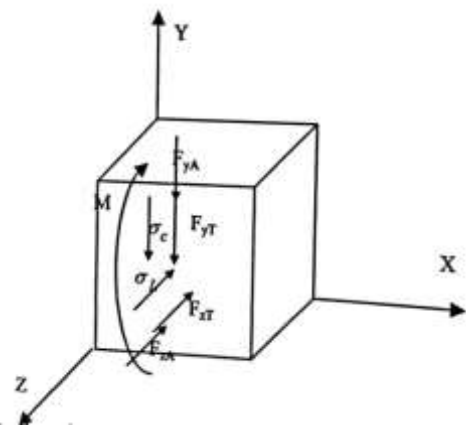
Gambar 35. (a) Status tegangan pada irisan penampang 1
(b) Status tegangan pada bagian dalam pipa



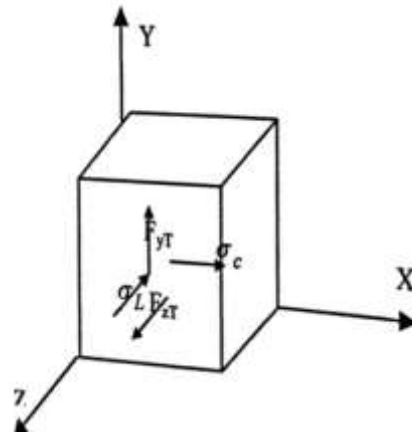
Gambar 36. Status tegangan pada titik a₁



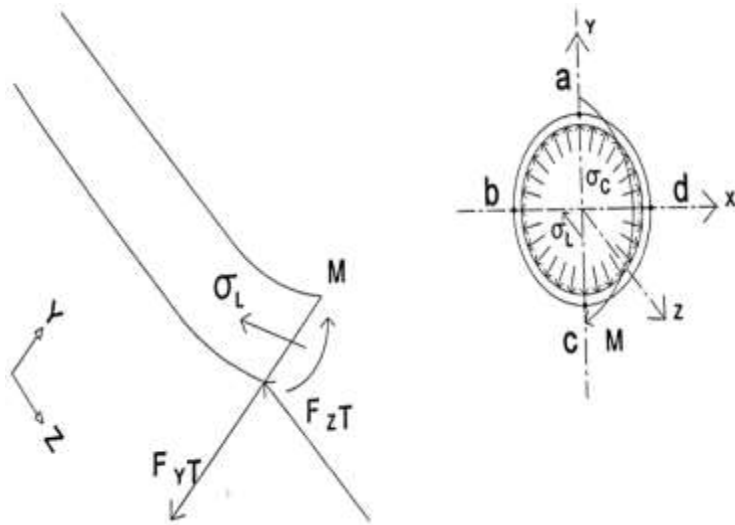
Gambar 37. Status tegangan pada titik b₁



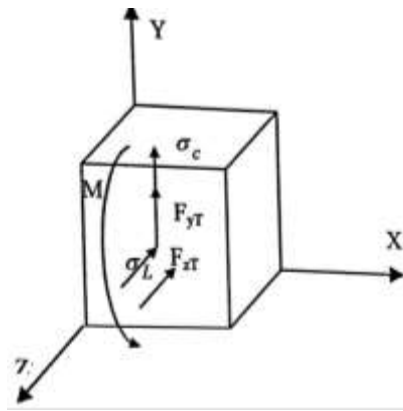
Gambar 38. Status tegangan pada titik c₁



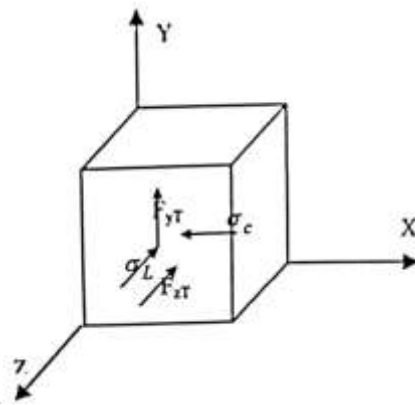
Gambar 39. Status tegangan pada titik d₁



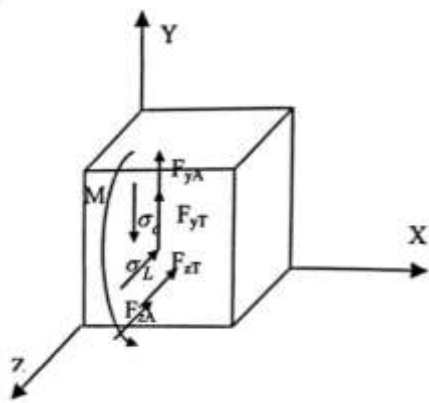
Gambar 40. (a) Status tegangan pada irisan penampang 3
(b) Status tegangan pada bagian dalam pipa



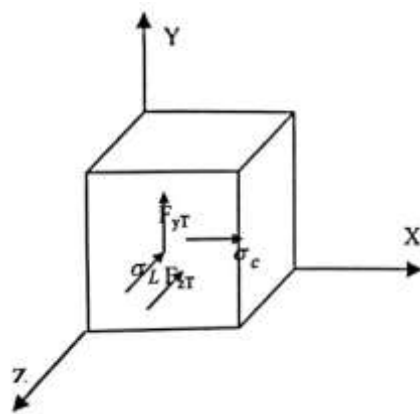
Gambar 41. Status tegangan pada titik a₃



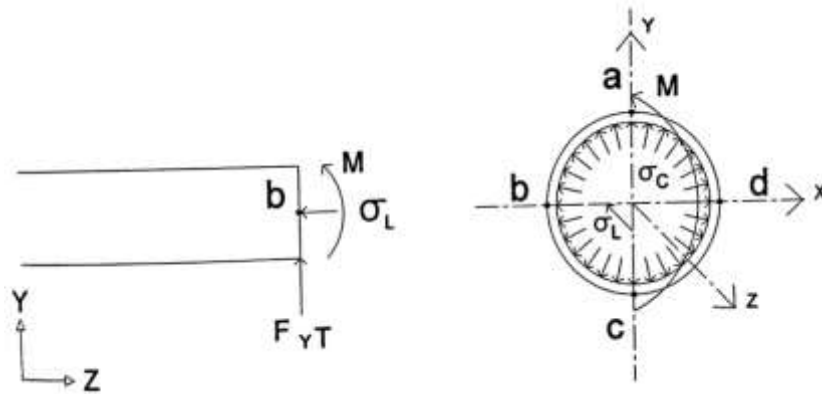
Gambar 42. Status tegangan pada titik b₃



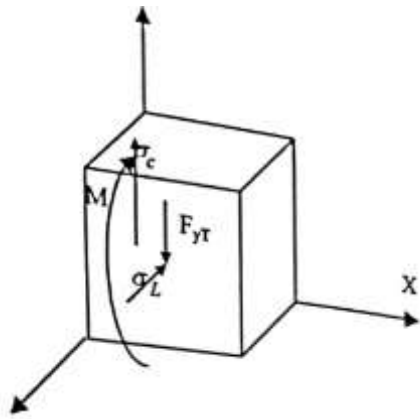
Gambar 43. Status tegangan pada titik c₃



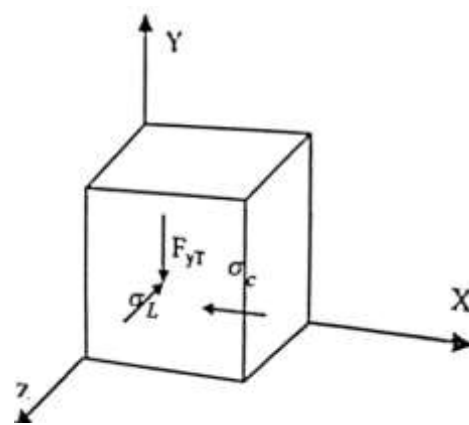
Gambar 44. Status tegangan pada titik d₃



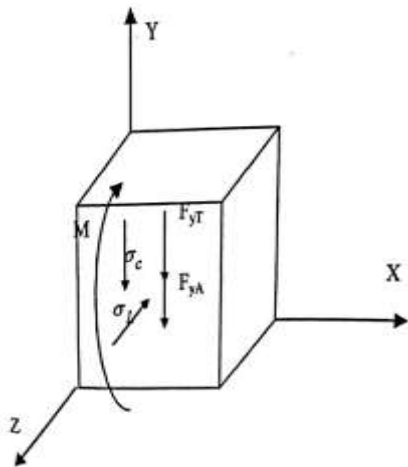
Gambar 45. (a) Status tegangan pada irisan penampang 4
(b) Status tegangan pada bagian dalam pipa



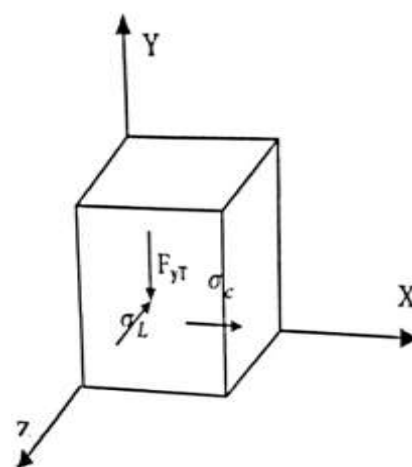
Gambar 46. Status tegangan pada titik a₄



Gambar 47. Status tegangan pada titik b₄



Gambar 48. Status tegangan pada titik c₄



Gambar 49. Status tegangan pada titik d₄

Tabel 3. Tegangan Equivalen (MN/m²)

Irisan Penampang	Titik			
	a	b	c	d
1	17,004	16,89	17,076	16,89
2	16,7	16,98	17,26	16,98
3	18,19	16,99	16,12	16,99
4	16,95	16,93	17,04	16,93
5	16,69	16,94	17,49	16,94

Teori kegagalan menyatakan bahwa kegagalan material akan terjadi bila harga maksimum dari analisa lebih besar dari batas maksimum yang diijinkan pada suatu material.

$$\sigma_{eq} \geq \sigma_{ijin}$$

Data hasil perhitungan analisa tegangan equivalen (tabel) menunjukkan bahwa titik kritis yang mengalami tegangan equivalen terbesar adalah titik a₃ yaitu titik a pada irisan penampang 3.

Besar tegangan equivalen pada titik a₃ adalah sebesar 18,19 Mpa, dimana nilai tegangan tersebut jauh lebih kecil dari tegangan ijin material pipa ($\sigma_{ijin} = 123,92 MPa$)

$$\sigma_{eq} \geq \sigma_{ijin} \Rightarrow 18,19 < 123,92 MPa$$

Sehingga titik kritis tersebut dapat dikatakan aman dari kegagalan material dan material pipa yang dipilih dapat dipergunakan dengan aman tanpa mengakibatkan kegagalan akibat pembebanan pada kondisi kerja pipa.

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Berdasarkan data hasil perhitungan analisa tegangan dapat disimpulkan bahwa distribusi tegangan maksimum terjadi pada irisan penampang di pusat lengkungan pipa. Dimana pada irisan penampang tersebut nilai tegangan equivalen pada titik a, b,c dan d adalah berturut-turut sebesar 18,19, 16,99, 16,12, 16,19 MPa. Titik yang mengalami tegangan equivalen terbesar adalah pada titik a yaitu sebesar 18,19 MPa.
2. Berdasarkan data kekuatan material pipa, tegangan yang diijinkan adalah sebesar 123,92 Mpa menunjukkan bahwa kondisi pembebanan dalam kegiatan operasional pipa berada berada dalam kondisi aman.

DAFTAR PUSTAKA

- Evett, J.B., Liu, C., 1988, *Fundamentals of To Fluid Mechanics*, Mcgraw Hill International Editions, Singapore
- Fox, R.W., Alsen,T., Donal, M.C., 1985, *Introduction to Fluid Mechanics*, John Wiley & Sons, New York
- Gere., Timoshenko., 1996, *Mekanika Bahan*, Erlangga, Jakarta
- Jensen, Chenoweth., 2012, *Kekuatan Bahan Terapan*, Erlangga, Jakarta
- Popov, E.P., Astamar, Zainul., 1991, *Mekanika Teknik*, Erlangga, Jakarta
- Raswari., 1986, *Teknologi dan Perencanaan Sistem Perpipaan*, Universitas Indonesia, Jakarta
- Streeter., Victor L., 1999, *Mekanika Fluida*, Erlangga, Jakarta

