

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Penelitian sebelumnya mengenai aliran fluida yang melewati pipa bulat silinder sehingga terjadi VIV telah dilakukan oleh C.H.K Williamson (2004). Pada penelitian ini dilakukan investigasi untuk mengetahui adanya VIV, hasil dan penemuan fundamental dari VIV yang telah dilakukan dan dirangkum dalam 2 dekade terakhir. Dengan mengungkap konsep terbaru dan fenomena terbaru mengenai VIV dan memperhatikan secara khusus pada dinamika vorteks dan perpindahan energi yang menimbulkan getaran.

Lou M in dan Guo Haiyan (2006) melakukan penelitian untuk mengetahui respon dinamis pada *flexible riser* dengan memperhatikan laju aliran fluida dalam pipa dan lingkungan eksternal laut. Penelitian ini dilakukan dengan cara eksperimental dan simulasi numerik untuk mendapatkan perbandingan keakuratan hasil penelitian. Dengan satu jenis fluida dan meningkatkan kecepatan alir fluida dalam pipa, diketahui dari hasil simulasi bahwa respon amplitudo yang dihasilkan lebih besar daripada hasil eksperimen, sedangkan untuk respon frekuensi hasil yang ditunjukkan relatif sama. Dari hasil simulasi numerik dan eksperimen diketahui peningkatan kecepatan fluida dalam menghasilkan respon amplitudo meningkat dan frekuensi menurun. Penurunan frekuensi menyebabkan VIV terjadi pada kecepatan yang rendah dan peningkatan amplitudo menyebabkan respon VIV semakin besar.

Susan B. Swithenbank (2008) melakukan penelitian tentang pengaruh angka Reynold pada silinder yang fleksibel dengan respon data yang di dapat dari VIV. Respon dari amplitudo dan frekuensi non-dimensional pada pada fleksibilitas silinder terhadap VIV dari eksperimen laboratorium dan eksperimen lapangan menunjukkan pola yang signifikan dengan peningkatan bilangan Reynold dari 10^3 hingga 2×10^5 . Dari perbedaan eksperimen tersebut, juga di lakukan analisa menggunakan data yang kompleks dengan lebar variasi dalam parameter fisik dan sistem, termasuk panjang hingga diameter rasio dari 82 menjadi 4236, dimana tegangan dan kekakuan lentur mendominasi frekuensi alami pada pipa, sub kritis dan kritis nya bilangan Reynold, koefisien redaman yang berbeda, ombak yang tenang dan ombak yang berjalan menyebabkan getaran, *mode number* dari 1-25 dan juga rasio massa yang berbeda.

Shade Rahmawati (2012) melakukan investigasi pada studi numerik interaksi VIV antara empat silinder tegak fleksibel dengan konfigurasi *in-line square* dalam aliran uniform. Dalam penelitian ini di dapatkan VIV dapat menyebabkan berkurangnya umur operasi suatu alat dan dapat berakibat pada kecelakaan atau kegagalan operasi. Oleh karena itu, sangat penting untuk memahami mekanisme terjadinya VIV dan rangkaian interaksi fluida-struktur dalam rangka meningkatkan kualitas desain peralatan. Makalah ini menyajikan studi numeris tiga dimensi (3-D) aliran laminar di sekitar empat silinder tegak fleksibel dalam konfigurasi *in-line square*. Penelitian difokuskan pada pengaruh *spacing ratio* (S_x dan S_y), *aspect ratio* (L/D), dan *Reynold Number* (Re) terhadap karakteristik aliran tiga dimensi di sekitar silinder. Hasil yang didapat menunjukkan bahwa pada *small spacing ratio*, nilai koefisien gaya angkat (CL) dan koefisien gaya hambat (CD) cenderung mengecil karena mendapat pengaruh redaman dari silinder lain, namun kemudian kembali normal pada konfigurasi di atas *critical spacing ratio* $3.5D$. Perpindahan silinder yang terjadi sangat kecil dengan A/D maksimum searah aliran sebesar 0.00053 , dan A/D maksimum tegak lurus aliran sebesar 0.0003 . Variasi *aspect ratio* memberikan efek penurunan nilai CL pada *downstream cylinder* pada *spacing ratio* $3.5-5$. Sedangkan pengaruh variasi bilangan Reynold Number yang semakin besar memberikan nilai CD dan CL yang semakin menurun, dan sebaliknya besarnya *displacement* silinder yang terjadi semakin meningkat. Pada $Re=100$ dan $Re=200$, VIV yang terjadi pada *upstream cylinder* adalah *in-line vibrations*, sedangkan *downstream cylinder* mengalami *cross-flow vibrations*. Pada $Re=300$, baik *upstream* maupun *downstream cylinder* mengalami *in-line vibrations*.

Ming Zhao et al (2013) melakukan investigasi pada silinder 2D yang kemudian terdapat aliran yang melaluinya dengan metode numerik. Aliran tersebut berupa aliran gabungan antara aliran *steady* dan aliran *unsteady (transient)*. Pada penelitian ini menyatakan bahwa rasio aliran mempengaruhi silinder secara signifikan. Dengan meningkatnya nomor keugelant-carpenter aliran disekitar silinder, menyebabkan peningkatan amplitudo getaran pada silinder. Kecepatan aliran balik (*cross flow*) pada 0.8 yakni sekitar 1.5 kali dari diameter silinder dengan kecepatan aliran fluida naik dan turun perlahan dalam 1 periode aliran osilasi.

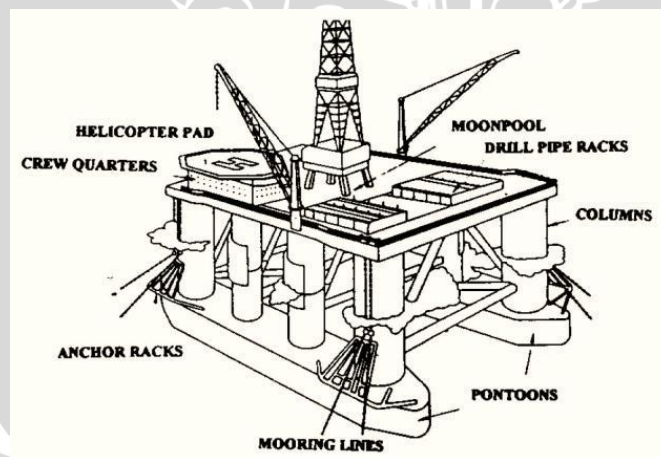
Hongjun Zhu et al (2013) melakukan investigasi tentang pengaruh aliran numerik disekitar pipa bawah laut dengan bantuan *spoiler* dan arus yang menyebabkan terjadinya pengikisan tanah di bawah pipa. Diameter pipa bawah laut yang digunakan

$D = 0.51$ m. Hasilnya vorteks yang terjadi akibat aliran arus tidak mengenai pipa melainkan melewati bagian dari *spoiler* yang dipasang di atas pipa. Sehingga vorteks yang timbul tidak di akibatkan karena melewati pipa.

M.Mobasher Tofa et al (2013) melakukan investigasi tentang studi experimental dan studi numerik terhadap VIV pada silinder. Penelitian ini membandingkan perhitungan secara numerik dan experimental semu dengan ANSYS CFX. Hasilnya puncak amplitudo dari CFD lebih kecil nilainya dibandingkan dengan eksperimen nyata. Hasil dari CFD dari penelitian ini merupakan mayoritas yang dilakukan secara signifikan dari simulasi VIV yang ditemukan dari studi literatur dengan arus 2D dan bilangan Reynold rendah.

2.2 Anjungan (Platform)

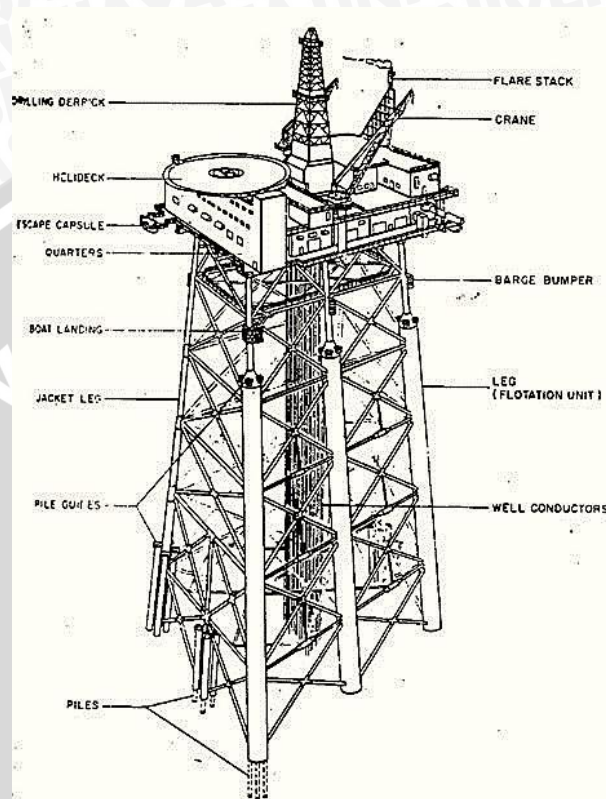
Anjungan merupakan bangunan yang berada pada di lepas pantai untuk mendukung proses eksplorasi dan eksploitasi bahan tambang. Pada umumnya anjungan lepas pantai memiliki sebuah *rig* yang berfungsi untuk membantu pada proses menganalisa sifat geologis reservoir maupun untuk membuat lubang yang memungkinkan pengambilan cadangan minyak bumi atau gas alam dari reservoir tersebut pada saat proses pengeboran.



Gambar 2.1 Anjungan *Semisubmersible*
Sumber : *Anonymous 1* (2015)

Struktur anjungan berdasarkan kemampuan mobilisasinya dibagi menjadi anjungan *mobile* dan anjungan *fixed drilling*. Eksplorasi pengeboran biasanya disertai dengan *mobile drilling rigs* yang dilengkapi dengan anjungan *submersible* yang biasanya terbatas pada daerah perairan dangkal. Anjungan *submersible* pada umumnya

dilengkapi dengan *jackup*, kapal pengebor atau kapal tongkang dan anjungan *semisubmersible drilling*. Pada gambar 2.1 ditampilkan anjungan *semisubmersible* yang mampu beroperasi pada kedalaman maksimum 1000 kaki. Anjungan tipe ini mampu bertahan pada beberapa kondisi cuaca dengan baik.

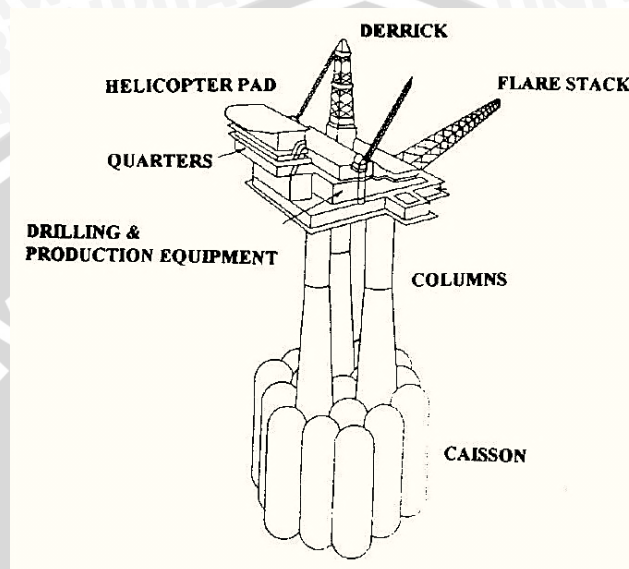


Gambar 2.2 Anjungan *Jacket*
Sumber : *Anonymous 2* (2015)

Aktivitas pengembangan dan produksi pada daerah lepas pantai pada umumnya dilengkapi dengan anjungan *fixed*. Anjungan *fixed* biasanya menggunakan selubung atau papan struktur dan ekstensi. Gambar 2.2 menampilkan struktur anjungan *jacket* yang terdiri dari bidang rangka struktur dengan tiang – tiang yang terpancang sebagai penopang. Konsep ekstensi ini mencakup bidang rangka struktur yang merupakan gabungan tiang – tiang atau tiang – tiang pelindung. Beberapa anjungan menggunakan perpanjangan kaki untuk memberikan gaya apung selama pemasangan instalasi. Anjungan *jacket* biasanya digunakan di laut selatan yang biasanya terdapat ombak mencapai tinggi 100 kaki.

Anjungan *gravity* adalah jenis lain dari anjungan yang didesain untuk produksi dan penyimpanan yang memiliki ruangan terbuka yang luas dengan kapasitas penyimpanan minyak yang sangat besar. Struktur berupa beton bertulang yang

mengandalkan berat struktur sebagai penahan beban lingkungan dimana tidak terdapat *pile* yang menopang beton tersebut. Tentunya struktur ini akan berdiri di atas tanah dasar yang memiliki bearing capacity tanah dasar yang memadai, dioperasikan pada kedalaman kurang dari 980 kaki. Gambar 2.3 merupakan konstruksi anjungan *gravity*. Klasifikasi anjungan *gravity* berdasarkan besar dimensi secara horizontal.



Gambar 2.3 Anjungan Grafity
Sumber : *Anonymus* 3 (2015)

2.3 Pipa

Pipa merupakan saluran tertutup sebagai media pengaliran atau transportasi fluida dari suatu unit yang satu kelainnya. Secara umum karakteristik pipa ditentukan berdasar material (bahan) penyusunnya yang disesuaikan dengan jenis fluida yang akan dialirkan dan memperhitungkan kondisi lingkungan dimana pipa tersebut akan diletakkan. Peletakan pipa dapat berada di tempat terbuka, di dalam tanah, maupun di dalam perairan.

2.3.1 Jenis Pipa

Berikut merupakan klasifikasi pipa berdasarkan material penyusunnya :

1. Pipa GIP (*galvanized iron pipe*)

Pipa GIP atau pipa besi galvanis adalah pipa yang telah dilapisi dengan seng yang berfungsi melindungi pipa dari korosi, digunakan untuk instalasi air bersih dingin atau kontruksi diluar ruangan.



Gambar 2.4 Pipa *galvanized iron pipe*
Sumber : *Anonymous 4* (2014)

2. Pipa PVC (*polyvinyl chloride*)

Pipa PVC dibuat dari *polyvinyl chloride* yang pada umumnya digunakan sebagai saluran air dalam suatu proyek perumahan atau gedung atau jalan dll. Pipa PVC ini sifatnya keras, ringan, dan kuat.



Gambar 2.5 Pipa *polyvinyl chloride*
Sumber : *Anonymous 5* (2014)

3. Pipa HDPE (*high-density-polyethylene*)

Pipa HDPE adalah pipa yang terbuat dengan bahan *polyethylene* dengan kepadatan tinggi sehingga dapat menahan daya tekan yang lebih tinggi. Karakteristik ini adalah kuat, lentur/fleksibel, tahan terhadap karat dan bahan kimia.



Gambar 2.6 Pipa *high-density-polyethylene*
Sumber : *Anonymous 6* (2014)

4. Pipa Baja (*steel pipe*)

Pipa baja diklasifikasikan menurut komposisi kimia yang terkandung di dalamnya. Digunakan sebagai jalur pipa untuk hasil penambangan energi dari alam, sebagai contoh : air, gas, minyak, dan cairan mudah terbakar lainnya.



Gambar 2.7 Pipa Baja

Sumber : *Anonymous 7* (2014)

5. Pipa Tembaga

Pipa tembaga merupakan pipa yang flexibel, tidak berkarat, kuat, tahan terhadap panas dan tekanan tinggi. Tembaga adalah logam anti korosi sehingga menghilangkan masalah air cokelat. Memiliki umur pakai yang panjang karena memiliki sistem anti kebocoran dan anti korosi yang baik. Biasanya digunakan untuk instalasi air panas.



Gambar 2.8 Pipa Tembaga

Sumber : *Anonymous 8* (2014)

6. Pipa Beton

Pipa beton terbuat dari campuran semen, pasir dan kerikil halus dengan perbandingan tertentu dan dicetak secara statis. Pipa beton kebanyakan dipergunakan untuk mengalirkan air bersih, air pengairan atau instalasi pembangkit tenaga dalam terowongan-terowonggan air. Pipa beton terbagi menjadi 2 tipe yaitu *heavy duty* dan *light duty*.



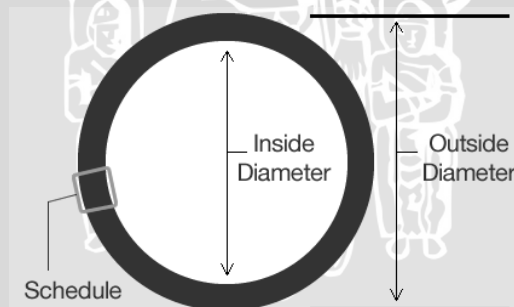
Gambar 2.9 Pipa Beton
Sumber : *Anonymous 9* (2014)

2.3.2 Dimensi Pipa

Ukuran pipa tergantung pada penggunaannya. Terdapat 2 jenis metode yang digunakan untuk menentukan satuan pipa:

- NPS (*nominal pipe size*) : merupakan ukuran standar Amerika Utara, dengan ukurannya berdasarkan *inch*.
- DN (*diameter nominal*) : merupakan penunjukkan ukuran Eropa, dengan ukurannya berdasarkan *millimeter*.

Hal lain yang di perhatikan pada saat memilih pipa adalah *schedule*. *Schedule* merupakan suatu penunjukkan untuk ketebalan dinding pipa atau kata lain yang biasa disebut dengan *thickness*.



Gambar 2.10 Diagram penentuan ukuran pipa
Sumber : Mohindar L. Nayar, P.E, (2002:32)

Macam – macam ukuran pipa yang biasa di gunakan pada industri :

- Large bore pipe* : pipa dengan ukuran lebih dari 2 *inch*.
- Small bore pipe* : pipa dengan ukuran 2 *inch* kebawah.
- Tubing* : pipa yang mempunyai ukuran sampai dengan 4 *inch*, tetapi mempunyai ukuran ketebaln dinding pipa yang lebih kecil jika di bandingkan dengan *large bore* dan *small bore*.

Tabel 2.1 Konversi satuan pipa dan wall

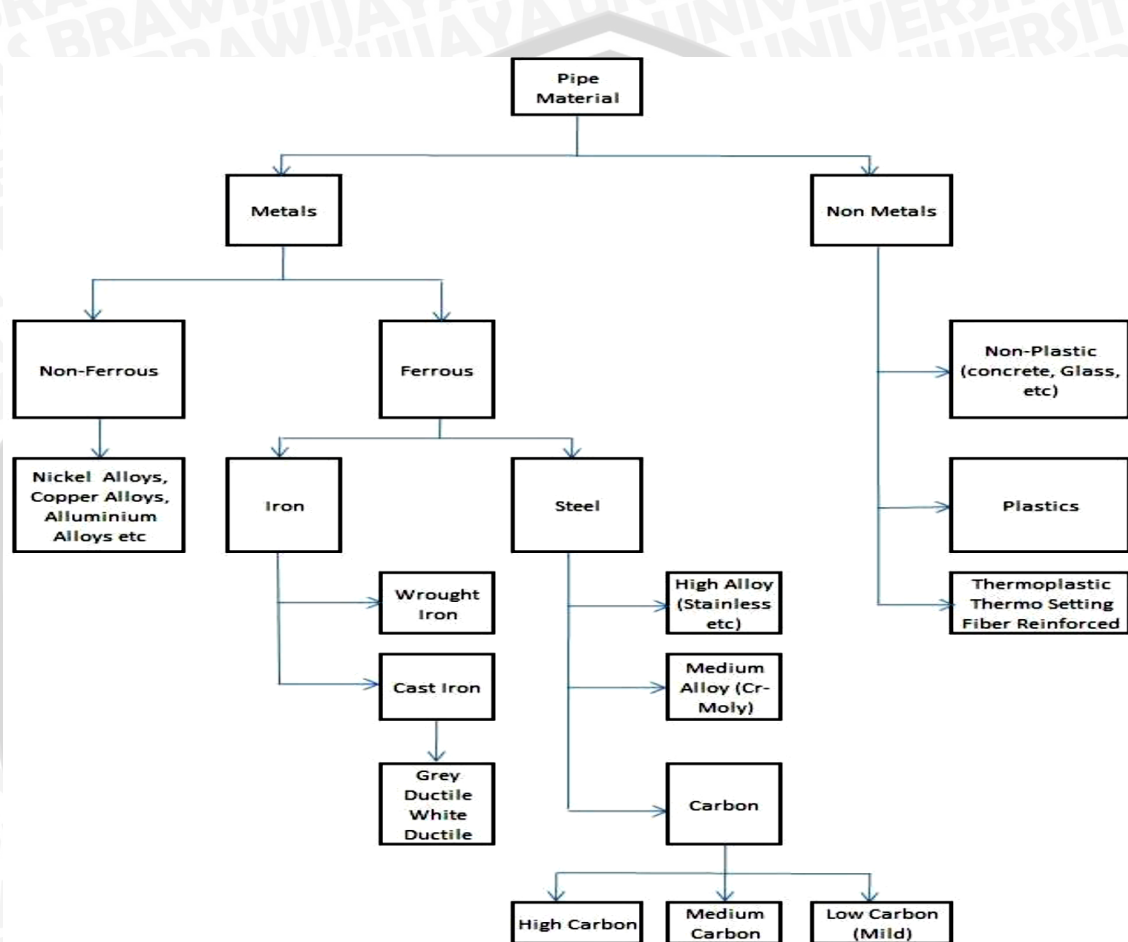
Diameter							
Nominal Size		Outside Diameter		Nominal Size		Outside Diameter	
Millimetres	Inches	Millimetres	Inches	Millimetres	Inches	Millimetres	Inches
6	¼	10.3	0.405	350	14	355.6	14.000
8	¼	13.7	0.540	400	16	406.4	16.000
10	¾	17.1	0.675	450	18	457.2	18.000
15	½	21.3	0.840	500	20	508.0	20.000
20	¾	26.7	1.050	550	22	558.8	22.000
25	1	33.4	1.315	600	24	609.6	24.000
32	1¼	42.2	1.660	650	26	660.4	26.000
40	1½	48.3	1.900	700	28	711.2	28.000
50	2	60.3	2.375	750	30	762.0	30.000
65	2½	73.0	2.875	800	32	812.8	32.000
80	3	88.9	3.500	850	34	863.6	34.000
90	3½	101.6	4.000	900	36	914.4	36.000
100	4	114.3	4.500	950	38	965.2	38.000
125	5	141.3	5.563	1000	40	1016.0	40.000
150	6	168.3	6.625	1050	42	1066.8	42.000
200	8	219.1	8.625	1100	44	1117.6	44.000
250	10	273.0	10.750	1150	46	1143.0	46.000
300	12	323.8	12.750	1200	48	1219.2	48.000
Millimetres	Inches	Millimetres	Inches	Millimetres	Inches	Millimetres	Inches
1.73	.068	5.16	.203	8.74	.344	21.95	.864
2.24	.088	5.49	.216	9.27	.365	22.23	.875
2.31	.091	5.54	.218	9.53	.375	23.01	.906
2.41	.095	5.56	.219	10.31	.406	23.83	.938
2.77	.109	5.74	.226	10.97	.432	24.61	.969
2.79	.110	6.02	.237	11.07	.436	25.40	1.000
2.87	.113	6.35	.250	11.13	.438	26.19	1.031
2.90	.114	6.55	.258	11.91	.469	27.79	1.094
3.02	.119	7.01	.276	12.70	.500	28.58	1.125
3.07	.121	7.04	.277	14.02	.552	29.36	1.156
3.20	.126	7.09	.279	14.27	.562	30.96	1.219
3.38	.133	7.11	.280	15.09	.594	32.54	1.281
3.56	.140	7.14	.281	15.88	.625	33.32	1.312
3.68	.145	7.62	.300	16.66	.656	35.71	1.406
3.91	.154	7.80	.307	17.12	.674	38.10	1.500
3.96	.156	7.92	.312	17.48	.688	44.45	1.750
4.55	.179	8.08	.318	18.26	.719	50.80	2.000
4.78	.188	8.18	.322	19.05	.750		
4.85	.191	8.38	.330	20.62	.812		
5.08	.200	8.56	.337	21.44	.844		

Sumber : Louis Gary Lemit (1981:21)

2.3.3 Baja

Baja (*steel*) merupakan material yang banyak digunakan pada konstruksi karena keunggulan sifatnya yang ulet dan mudah dibentuk, kuat, dan juga mampu keras. Unsur utama baja adalah besi (Fe) dan karbon (C), dapat dipadukan dengan unsur lain seperti kromium (Cr), nikel (Ni), titanium (Ti) dan lain sebagainya, dimana paduan ini berfungsi untuk mendapatkan sifat mekanik yang diinginkan. Pembuatannya dengan didinginkan secara cepat di atas temperatur kritikal, sehingga baja tidak mengandung

terak dan dapat di cor, di giling maupun di tempa. Baja banyak digunakan sebagai bahan paduan pada logam. Meskipun baja dapat di cor dengan menggunakan cetakan untuk menyesuaikan bentuk tertentu dan ukurannya yang kompleks, kebanyakan baja di cor menjadi logam batangan yang digunakan untuk pembuatan pipa, lembaran baja, atau bentuk yang terstruktur.



Gambar 2.11 Bagan klasifikasi material pipa
 Sumber : George A. Antaki (2005:50)

Klasifikasi baja berdasarkan unsur paduan yang di kandung. Karbon merupakan unsur yang paling penting, karena dapat meningkatkan kekerasan dan kekuatan, sehingga menentukan sifat mekanis dan kemampuan kerja material. Oleh karena itu, baja di klasifikasikan berdasarkan kandungan karbonnya. Baja karbon biasa mengandung besi dan karbon sebagai bahan utama, dan diklasifikasikan sebagai baja 10XX. 2 angka pertama sebagai kode bahwa baja tersebut merupakan baja karbon biasa. Dan angka ketiga dan keempat merupakan kandungan karbon dalam persen. Dengan begitu, 1035 adalah baja karbon biasa dengan kandung karbon 35%. Terdapat variasi dari jumlah dari karbon yang dikandung dari baja karbon lainnya, namun kandungan

nya sangat sedikit sehingga tidak mempengaruhi propertis fisik dari baja karbon itu sendiri.

Baja paduan (*alloy steel*) diklasifikasikan oleh *Society of Automotive Engineers* (SAE) dan *American Iron and Steel Institute* (AISI). Beberapa petunjuk mengenai standar yang ditetapkan terdapat pada tabel. Baja secara luas dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

A. Carbon steel

1. *Low carbon* – kurang dari 0.30%
2. *Medium carbon* – 0.30% - 0.70%
3. *High carbon* – 0.70% - 2% (nominal untuk kandungan tertinggi biasanya 1.4%)

B. Alloy steel

1. *Low alloys* – jumlah total unsur paduan khusus kurang dari 8.0%
2. *Hight alloys* – jumlah total unsur paduan khusus lebih dari 8.0%

Low-carbon steels biasa digunakan untuk kabel, bentuk yang terstruktur, dan mesin pembuat sekrup. *Medium-carbon steels* biasa digunakan untuk rel, poros, gear dan bagian yang membutuhkan kekuatan yang tinggi dengan rata-rata kekerasan tinggi pula. *High-carbon steels* biasa ditemukan sebagai alat pemotong seperti pisau, mata bor, tap, dan untuk properti yang membutuhkan ketahanan abrasi.

Microstruktur dari *medium-carbon cast steel* dapat dilihat dari gambar 2.12. Area yang terang merupakan area dari *ferrite* dan area yang gelap merupakan *pearlite*. Butir struktur dari baja cor kebanyakan berbentuk besar karena temperatur pengecoran dengan logam pada temperatur tinggi dilanjutkan dengan pendinginan yang relatif lambat.



Gambar 2.12 Struktur *medium-carbon-steel*. Pembesaran x 200
Sumber : Mohinder L. Nayar (2000:52)

Lebih dari 50% baja cor adalah *medium-carbon steel*. Baja cor digunakan pada industri transportasi, industri permesinan, dan industri konstruksi. Dikarenakan memiliki keuletan dan kekuatan tarik yang baik pada kondisi normal berkisar antara

60.000 – 100.000 psi (400 – 690 MPa). Unsur kimia pada *medium-carbon steel* adalah sebagai berikut: karbon 0.21% - 0.46%, magnesium 0.55% - 0.73%; silicon 0.28% - 0.45%; fosfor dan sulfur secara bersamaan, kurang dari 0.1% dan juga *ferrite*.

Baja paduan (*alloy steel*), yang mana dalam produksi baja hanya terhitung sekitar 15% , banyak di pilih untuk banyak kegunaan dikarenakan memiliki karakteristik yang lebih unggul di banding dengan baja karbon biasa. Meskipun, setiap baja paduan (*alloy steel*) tidak memiliki karakteristik yang unggul tersebut, tetapi keuntungan dari penggunaan baja paduan (*alloy steel*) perlu dipertimbangkan. Keuntungan dari penggunaan baja paduan (*alloy steel*) sebagai berikut :

1. Perbaikan pada keuletan tanpa memperkecil kekuatan tarik nya.
2. Kemampuan untuk mengeras dengan pendinginan cepat menggunakan minyak atau udara yang mengandung air, dimana hal tersebut dapat mengurangi kemungkinan retak ataupun melengkung.
3. Kemampuan untuk mempertahankan properti fisik pada temperatur yang tinggi.
4. Kerentanan yang rendah pada korosi dan pemakaian yang berlebih, tergantung pada paduannya.
5. Karakteristik metalurgi yang diinginkan dapat terpenuhi, sebagai contoh ukuran butir yang baik.

2.4 Arus Laut

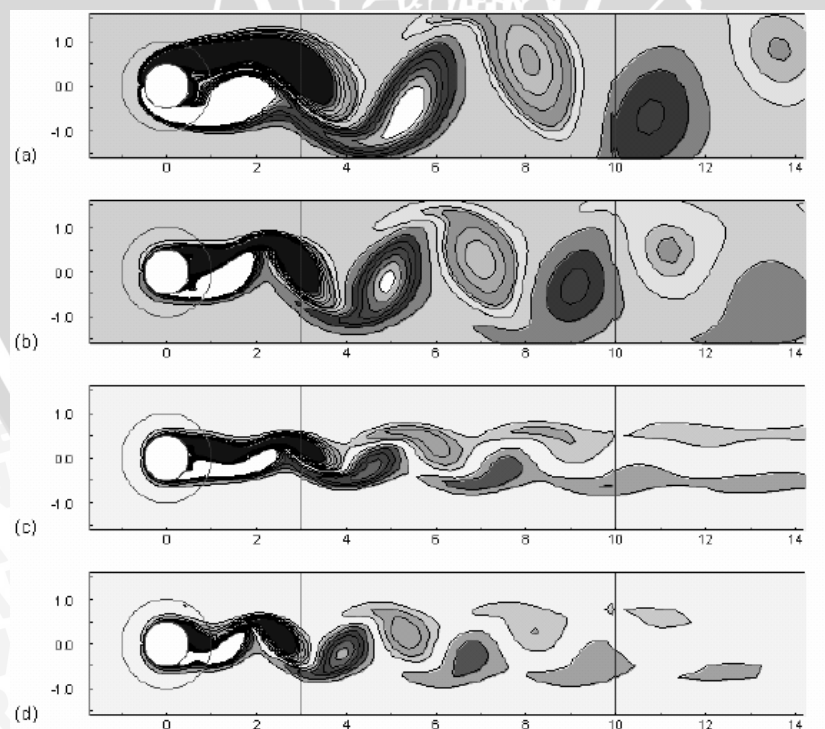
Air laut bergerak secara horizontal maupun vertikal bahkan terjadi turbulensi ketika ada gerakan gabungan antara gerakan vertikal dan horizontal. Air laut yang bergerak memiliki massa dan kecepatan, sehingga air laut memiliki karakteristik massa jenis dan viskositas, dimana air laut akan terus bergerak menuju ke daerah memiliki tekanan, temperatur, atau kerapatan lebih rendah. Gerakan air laut dapat diklasifikasikan ke dalam gelombang, arus, dan pasang (naik/turun) atau tide.

Gelombang disebut juga ombak atau alun, terjadi karena adanya perbedaan dari massa air dan udara yang saling berkontak dengan kepadatan berbeda. Setiap gelombang memiliki tiga unsur penting, yaitu panjang gelombang, tinggi gelombang, dan periode gelombang. Arus laut merupakan gerakan massa air yang sangat luas yang terjadi pada seluruh lautan di dunia. Faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya arus adalah angin, perbedaan permukaan air laut (niveau), perbedaan temperatur, perbedaan salinitas dan kepadatan air, pasang naik-pasang surut, dan bentuk pantai. Pasang surut air laut (*tides*) merupakan hubungan antara pasang naik – pasang surut dengan gaya tarik

bulan dan matahari, serta gaya sentrifugal bumi. Gejala pasang surut ini terjadi diseluruh permukaan bumi. Karena rotasi bumi terjadi setiap harinya, maka periodenya antara pasang surut berikutnya adalah 12 jam 25 menit.

2.4.1 Vorteks (*vortex*)

Vorteks adalah pusaran fluida yang menggulung, hal ini terjadi ketika suatu aliran fluida membentur permukaan suatu struktur, maka tekanan aliran fluida yang berupa tekanan aliran bebas meningkat menjadi tekanan stagnan pada suatu nilai titik tertentu. Tekanan stagnan ini menjadi tekanan tinggi yang terpusat pada permukaan struktur yang dilewati sehingga mendorong aliran fluida untuk mengalir mengikuti kontur dari struktur dan membentuk lapisan batas pada kedua sisi. Gaya dorong yang dimiliki fluida ini disebabkan oleh viskositas fluida yang tidak dapat mengikuti bentuk permukaan struktur hingga ke bagian belakang secara utuh, sehingga terpisah pada kedua sisi struktur dan menjadi dua lapisan yang bergerak bergeser. Dua lapisan yang bergeser ini memiliki kecepatan yang lebih rendah dibandingkan dengan aliran fluida disekitarnya, kemudian menggulung. Bentuk dari aliran vorteks dipengaruhi oleh bilangan Reynould.

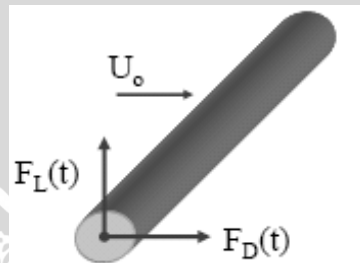


Gambar 2.13 Bentuk pelepasan vorteks, (a) Pada tahap *steady* untuk $Re = 100$; (b) Pada tahap *steady* untuk $Re = 1 \times 10^5$; (c) Pada tahap *steady* untuk $Re = 1 \times 10^6$; (d) Pada tahap *steady* untuk $Re = 1 \times 10^7$

Sumber : Ching Chen, (2004), Purwanti (2008), A. W. Ariyanti (2010:10)

Pada Gambar 2.13 dapat diketahui bahwa bentuk vorteks yang dihasilkan ketika suatu aliran melewati suatu struktur berbentuk silinder bulat pada setiap bilangan Reynold dapat berbeda-beda dan setiap terbentuk aliran vorteks akan diikuti dengan pelepasan vorteks. Semakin tinggi nilai bilangan Reynold, maka semakin sedikit vorteks yang dibentuk.

Pelepasan vorteks dapat menimbulkan gaya gesek dan gaya angkat pada silinder. Gaya angkat mempunyai arah tegak lurus terhadap silinder sedangkan gaya gesek sejajar dengan silinder. Karena pergantian *vortex wake* (*Karman street*) maka osilasi gaya angkat terjadi pada frekuensi pelepasan vorteks dan gaya gesek terjadi pada dua kali frekuensi pelepasan vorteks. (A. W. Ariyanti 2010)



Gambar 2.14 Gaya Angkat dan Gesek pada Silinder
Sumber : A. H. Techet (2004), A. W. Ariyanti (2010:15)

Persamaan untuk menghitung gaya gesek adalah sebagai berikut (Potter, 2011) :

$$F_D = \frac{1}{2} \rho C_D D U_e^2 \quad (2-5)$$

Keterangan : F_D = Gaya gesek per satuan panjang pipa

C_D = Koefisien gesek

D = Diameter luar pipa

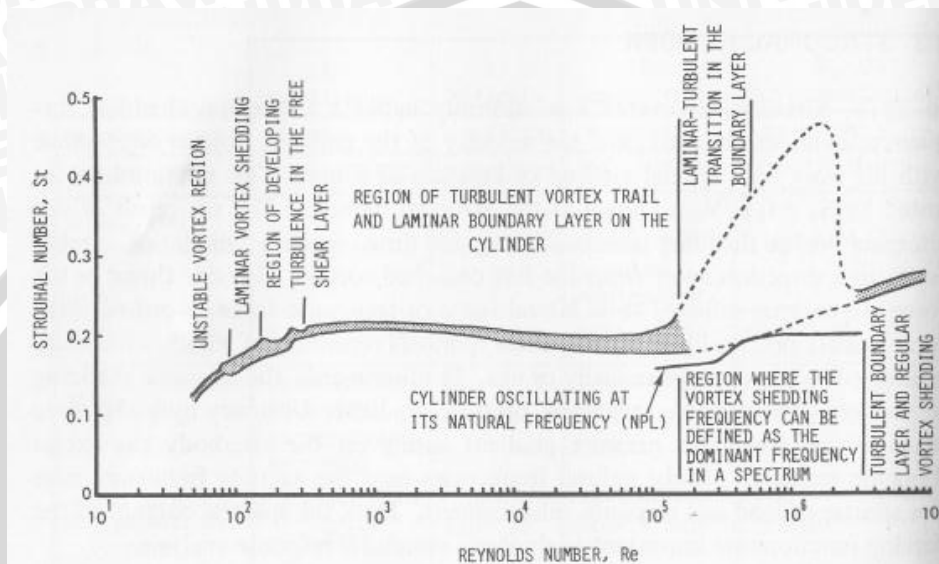
ρ = Densitas fluida

U_e = Kecepatan efektif partikel

2.4.2 Vortex-Induced Vibration (VIV)

VIV merupakan fenomena bergetarnya suatu struktur akibat frekuensi natural struktur yang sama atau hampir sama dengan frekuensi pelepasan vorteks (*vortex shedding*), sehingga terjadi resonansi dan struktur mengalami resonansi, dimana efek resonansi ini cenderung destruktif terhadap struktur. Vorteks (*vortex*) adalah partikel-partikel fluida yang berputar secara cepat pada pusaran fluida secara tertutup terhadap suatu titik sebagai pusatnya, dimana bentuk aliran vorteks ditentukan oleh bilangan

Reynold. Nomor Strouhal merupakan besaran non dimensional yang menunjukkan hubungan antara frekuensi dan panjang, dimana dalam hal ini menunjukkan hubungan antara frekuensi pelepasan vorteks, diameter silinder, dan kecepatan aliran yang berada disekitar silinder. Pada gambar 2.15 ditampilkan hubungan nomor Strouhal pada bilangan Reynold tertentu.



Gambar 2.15 Hubungan Strouhal- Bilangan Reynold Untuk Silinder Bulat
Sumber : Turgut Sarpkaya (1981:58)

Terjadinya VIV pada aliran di sekitar struktur dapat diketahui dari nilai parameternya. Parameter VIV sebagai berikut (A. H. Techet, 2004) :

1. *Strouhal number* (A. W. Ariyanti 2010:11) (2-1)

$$S_t = \frac{f_s D}{U}$$

Keterangan : f_s = frekuensi pelepasan vorteks (Hz)

S_t = *strouhal number*

$\cong 0,2$ untuk silinder bulat

U = kecepatan partikel (m/s)

D = diameter struktur (m)

2. *Reynolds number* (A. W. Ariyanti 2010:11) (2-2)

$$R_e = \frac{UD}{\nu} = \frac{V_s \rho L}{\mu}$$

Keterangan : R_e = *Reynolds number*

$R_e < 10^5 S_t$ (batas aliran laminar)

U = kecepatan partikel (m/s)

D = diameter struktur (m)

3. Frekuensi pelepasan vorteks (A. W. Ariyanti 2010:11) (2-3)

$$f_s = \frac{StU}{D}$$

Keterangan : f_s = frekuensi pelepasan vorteks (Hz)

St = *strouhal number*

$\cong 0,2$ untuk silinder bulat

U = kecepatan partikel (m/s)

D = diameter struktur (m)

4. *Kaulegan-Carpenter* (A. W. Ariyanti 2010:11) (2-4)

$$K_c = \frac{UT}{D}$$

Keterangan : K_c = *Kaulegan-Carpenter number*

U = kecepatan partikel (m/s)

T = periode (s)

D = diameter struktur (m)

Kaulegan-Carpenter harus diketahui harganya untuk mengetahui signifikan tidaknya VIV yang terjadi. Jika $K_c > 5$ maka VIV yang terjadi cukup signifikan dan sebaliknya jika $K_c < 5$ maka VIV yang terjadi tidak signifikan. Jika $K_c > 30$ dan kecepatan arusnya lebih besar dibandingkan kecepatan gelombang maka pelepasan vorteks terjadi pada saat aliran arusnya steady. (A. W. Ariyanti 2010)

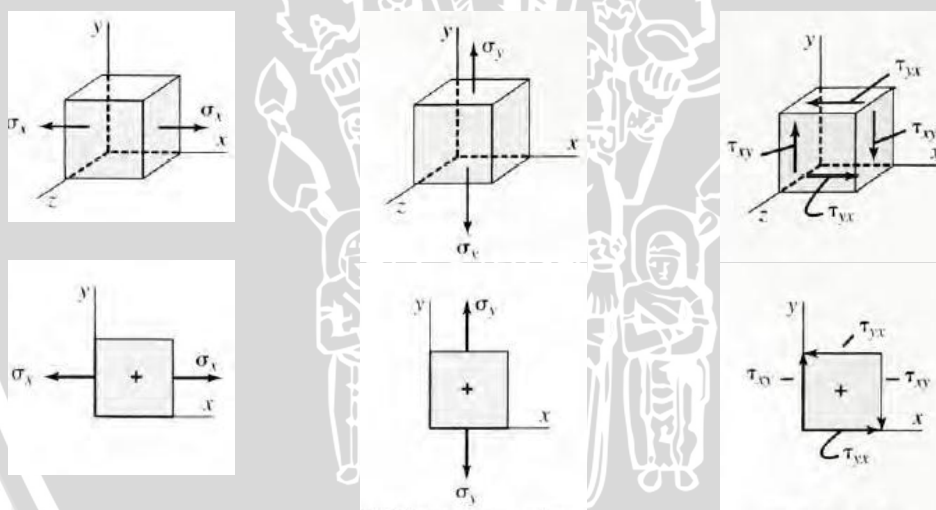
2.5 Tegangan-Regangan

Tegangan regangan merupakan konsekuensi yang tidak dapat dipisahkan akibat suatu beban yang bekerja terhadap suatu struktur, sebuah konsep yang sangat penting dalam peninjauan kekuatan atau kekakuan. Beban (*load*) merupakan gaya (*force*) yang bekerja pada suatu bagian struktur. Gaya yang melawan efek dari beban tersebut disebut reaksi (*reactions*). Beban dan reaksi secara umum dikategorikan sebagai eksternal dan internal, statis atau dinamis. Kemudian didefinisikan lebih lanjut terhadap penampang yang bersentuhan.

2.5.1 Tegangan (*Stress*)

Tegangan merupakan perhitungan beban yang bekerja pada suatu luasan area, diwakilkan dengan simbol σ . Tegangan adalah *tensor*, yaitu deskripsi lengkap dari vektor gaya, sehingga memiliki besar, arah, dan definisi permukaan dimana gaya tersebut bekerja. (Megson, 2007). Pada gambar 2.16 ditunjukkan tiga jenis tegangan dasar yaitu, tarik, tekan dan geser. Tegangan tarik dan tekan, atau yang disebut tegangan normal ditunjukkan bekerja tegak lurus dengan permukaan. Tegangan tarik cenderung untuk menarik elemen dan tegangan tekan cenderung meremukkan.

Tegangan geser terjadi ketika dua buah gaya berlawanan arah yang tidak segaris bekerja tegak lurus sumbu struktur, timbul dari vektor gaya paralel pada penampang melintang, diwakilkan dengan simbol τ . Pada tiap kasus, gaya yang diberikan pada elemen cenderung untuk memotong elemen dengan menghasilkan tegangan ke arah bawah dan secara bersamaan pula menghasilkan tegangan ke arah atas pada permukaan yang sejajar. (Mott, 2004)



Gambar 2.16 Tipe-tipe Tegangan pada Elemen a) *Direct Tension*, b) *Direct Compression*, c) *Pure Shear*

Sumber: Robert L. Mott.(2004:78)

Persamaan berikut untuk mengetahui besar tegangan yang bekerja secara vertikal :

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (\text{John T. Easley 1981:}) \quad (2-6)$$

Keterangan : σ = Tegangan(N/m²)

P = Beban (N)

A = Luas penampang (m²)

Persamaan berikut untuk mengetahui besar tegangan yang bekerja secara horizontal :

$$\tau = \frac{P/2}{A} \quad (\text{John T. Easley 1981:}) \quad (2-7)$$

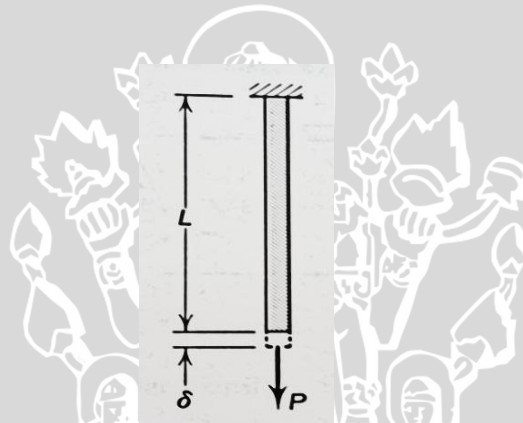
Keterangan : τ = Tegangan(N/m²)

P = Beban (N)

A = Luas penampang (m²)

2.5.2 Regangan

Struktur dapat mengalami deformasi ketika terkena beban eksternal, internal, atau perubahan temperatur yang diberikan secara progresif maupun kumulatif. Deformasi merupakan perubahan sebuah struktur dari kondisi semula ke kondisi terkini.



Gambar 2.17 Regangan normal pada balok
Sumber: John N. Cernica (1966:18)

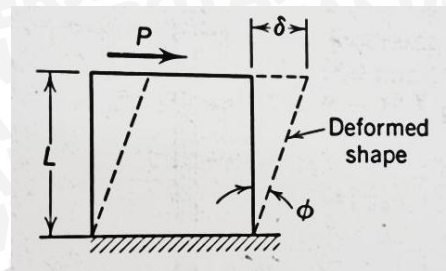
Regangan adalah bagian dari deformasi yang mendiskripsikan perubahan relatif atau bentuk benda akibat mengalami tegangan, merupakan unit untuk mendefinisikan deformasi persatuan panjang. Pada gambar 2.17 menampilkan regangan terhadap satu sumbu, atau normal terhadap penampang batang oleh beban tarik (*tensile load*). Regangan terhadap satu sumbu disebut regangan normal (*normal strain*), diwakilkan dengan simbol ε . Dapat dirumuskan dengan persamaan berikut untuk mengetahui besar regangan normal :

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L} \quad (\text{John N. Cernica 1966:11}) \quad (2-8)$$

Keterangan : ε = Regangan normal

δ = Perubahan panjang (m)

L = Panjang awal (m)



Gambar 2.18 Regangan geser
Sumber: John N. Cernica (1966:20)

Regangan yang disebabkan oleh beban tarik bernilai positif, sedangkan regangan disebabkan oleh beban tekan (*compressive load*) bernilai negatif. Deformasi pada gambar 2.17 menampilkan perubahan dalam dimensi linier (panjang atau lebar). Pada gambar 2.18 menampilkan deformasi dalam unit sudut yang merubah geometri. Deformasi dalam unit sudut disebut regangan geser (*shearing strain*). Besar regangan geser dapat diketahui dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\gamma = \frac{\delta}{L} \approx \phi \quad (\text{John N. Cernica 1966:19}) \quad (2-9)$$

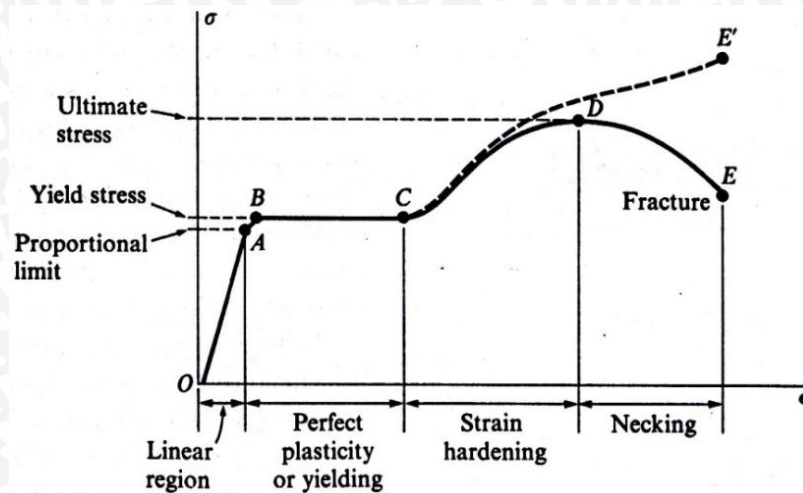
Keterangan : γ = Regangan geser

δ = Perubahan panjang (m)

L = Panjang awal (m)

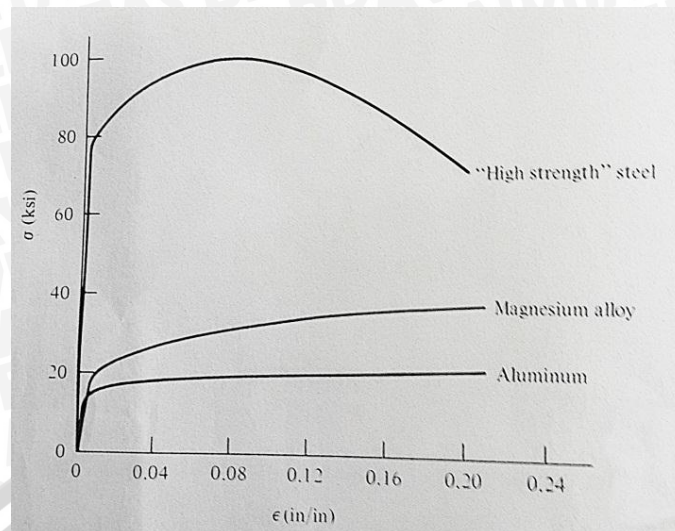
2.5.3 Diagram Tegangan-Regangan (*Strain-Stress Diagram*)

Properti mekanik material yang digunakan pada bidang keteknikan ditentukan berdasarkan hasil pengujian pada spesimen sebagai sampel kecil dari material tersebut. Berbagai macam pengujian dilakukan untuk mengetahui nilai kekuatan material. Hasil dari pengujian kekuatan material disajikan dalam diagram tegangan-regangan. Diagram tegangan-regangan menyajikan nilai tegangan yang diaplikasikan pada spesimen dengan satu arah sumbu (*uniaxial stress*), diwakilkan dengan simbol σ , terhadap regangan membujur (*longitudinal strain*) terukur, diwakilkan dengan simbol ϵ . Diagram tegangan-regangan digunakan untuk mendeskripsikan properti mekanik material dalam kekuatan material. Pada gambar 2.19 disajikan contoh diagram tegangan-regangan dari struktur baja hasil pengujian tarik.



Gambar 2.19 Diagram Tegangan-Regangan untuk Struktur Baja pada Pengujian Tarik
Sumber : James M. Gere (1990:13)

Pada gambar 2.19 dapat dilihat pada poin awal O hingga poin A menunjukkan bahwa tegangan regangan yang terjadi adalah proposional, dimana setelah poin A tidak ada lagi kondisi antara tegangan regangan yang proposional, poin A merupakan batas proposional. Garis lurus yang ditunjukkan pada poin O hingga poin A disebut modulus elastisitas. Setelah daerah proposional maka penambahan regangan akan lebih besar daripada penambahan tegangan, dapat dilihat pada garis datar antara poin B hingga poin C, dimana penambahan tegangan tidak signifikan namun material terus mengalami penambahan panjang, fenomena ini disebut mulur, titik B merupakan titik mulur. Pada daerah poin B dan poin C material akan menjadi plastis secara sempurna, dimana tanpa penambahan beban regangan dapat terus terjadi. Setelah mengalami mulur pada daerah mulur, maka material akan membutuhkan tegangan yang lebih besar agar terjadi deformasi lebih lanjut, dimana beban yang diterima material terjadi pada nilai maksimumnya pada poin C ke poin D, dan pada poin D disebut tegangan ultimate. Selanjutnya regangan yang lebih lanjut terjadi dengan penurunan tegangan hingga material mengalami kegagalan (patah) pada poin E. Kontraksi lateral terjadi pada material saat meregang, yang menyebabkan mengecilnya luas penampang. Pengurangan luas area yang terlalu kecil sehingga tidak terlihat pada poin C, namun pada poin ini pengurangan luas area mulai merubah arah grafik, fenomena ini disebut *necking*. Apabila luas pada *necking* yang digunakan untuk menghitung tegangan, maka kurva tegangan regangan sejati adalah poin C ke poin E'. Pada Gambar 2.20 menampilkan diagram tegangan-regangan beberapa material logam, seperti baja kekuatan tinggi (*high-strength steel*), paduan magnesium (*magnesium alloy*), aluminium (*aluminum*).



Gambar 2.20 Diagram tegangan-regangan beberapa material
Sumber : Nicholas Willems (1981:61)

2.6 Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method*)

Metode Elemen Hingga atau *Finite Element Method (FEM)* adalah metode penyelesaian suatu permasalahan yang memiliki derajat kebebasan tak berhingga menjadi berhingga dengan menggunakan dekomposisi domain menjadi beberapa subdomain yang disebut elemen dimana pendekatan sistematis dibangun berdasarkan variasi metode yang digunakan. Penyusunan variabel yang dicari sebagai suatu fungsi pendekatan untuk tiap elemen. Fungsi tersebut (disebut fungsi interpolasi) ditentukan berdasarkan nilai variabel pada titik tertentu yang disebut node. Node biasanya berada batas elemen dan node menghubungkan elemen yang berdekatan. (Madenci, 2006: 1)

Secara umum proses analisa dengan metode elemen hingga terdiri dari beberapa langkah utama yaitu:

- Diskritisasi domain menjadi beberapa subdomain (elemen)
- Pemilihan fungsi interpolasi
- Pengembangan matriks elemen untuk tiap elemen
- Penggabungan (*assembly*) tiap matriks elemen untuk memperoleh matriks global untuk seluruh domain.
- Penentuan kondisi batas (*boundary condition*)
- Penyelesaian persamaan

Beberapa contoh program FEM yang tersedia di pasaran antara lain: ANSYS, Abaqus, FEMAP, LS-DYNA, MSC. PATRAN, NASTRAN, dan lain-lain.

2.6.1 ANSYS

ANSYS Workbench merupakan paket program yang digunakan untuk menyelesaikan masalah dengan metode numerik atau perangkat lunak simulasi rekayasa (*computer-aided engineering*, or CAE) berbasis metode elemen hingga (*finite element*). Pengembangan perangkat lunak ANSYS, Inc ini bermarkas di selatan Pittsburgh di *Southpointe business park*, Cecil Township, Pennsylvania, Amerika Serikat. Perusahaan ini didirikan pada tahun 1970 oleh Dr John A. Swanson sebagai Swanson Analysis Systems, Inc (SASI), dengan tujuan utamanya adalah untuk mengembangkan dan memasarkan analisis elemen hingga perangkat lunak untuk fisika struktural yang bisa mensimulasikan permasalahan statis (stasioner), dinamis (bergerak) dan thermal (perpindahan panas). SASI mengembangkan bisnisnya secara paralel dengan pertumbuhan teknologi komputer dan rekayasa kebutuhan. Pada tahun 1994 SASI dijual kepada TA Associates yang kemudian disebut ANSYS® perangkat lunak terkemuka, sebagai produk andalan mereka dan ditunjuk ANSYS, Inc sebagai nama perusahaan baru. ANSYS terus berkembang dan sangat responsif terhadap kebutuhan pemodelan di bidang rekayasa, berikut merupakan produk ANSYS :

1. *Simulation Technology*

- *Systems & Multiphysics*
- *Electronics*
- *Fluid Dynamics*
- *Structural Analysis*

2. *Workflow Technology*

- *ANSYS Workbench Platform*
- *Geometry Interfaces*
- *High-Performance Computing*
- *Simulation Process & Data Management*

2.7 Fluida

Fluida adalah substansi yang terdeformasi secara terus menerus apabila dikenai tegangan geser (tangensial), sekecil apapun tegangan geser tersebut. Fluida terdiri dari fase cair dan gas (atau uap) pada bentuk fisiknya dalam suatu kondisi tertentu (Fox, 2004).

Liquid merupakan satu-satunya keadaan dengan volume yang pasti tapi tidak ada bentuk yang tetap, terdiri dari partikel-partikel kecil dengan materi bergetar, seperti

atom, dan wujud dari bersama oleh ikatan antar molekul. Gas adalah fluida tak berbentuk yang dapat menyebar dan memenuhi ruang yang ditempatinya. Gas merupakan wujud materi yang molekul- molekulnya tidak terikat oleh gaya kohesif. Gas dapat dicairkan dengan cara mengkombinasikan antara menurunkan temperature dan menaikkan tekanan. Setiap jenis fluida memiliki karakteristik yang berbeda-beda, seperti viskositas dan massa jenis, dimana karakteristik fluida ini akan mempengaruhi perilaku fluida ketika dikenai gaya atau perubahan temperatur.

2.9 Hipotesis

Hipotesis dari penelitian ini yaitu semakin meningkat kecepatan fluida dalam pipa *riser* maka tegangan yang terjadi pada dinding pipa *riser* akan semakin meningkat karena fluida yang mengalir memiliki tegangan geser terhadap dinding dalam pipa *riser*.

