

SKRIPSI

**PENGGUNAAN *VORTEX GENERATOR* BERBENTUK
SEGITIGA PADA *FITTING ELBOW* SISTEM PENDINGIN
KONDENSOR *AIR CONDITIONER***

Disusun dan diajukan oleh:

**TRIANA KHADIJAH KADRI
D091191086**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**



Optimized using
trial version
www.balesio.com

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI**PENGUNAAN *VORTEX GENERATOR* BERBENTUK
SEGITIGA PADA *FITTING ELBOW* SISTEM PENDINGIN
KONDENSOR *AIR CONDITIONER***

Disusun dan diajukan oleh

**TRIANA KHADIJAH KADRI
D091191086**

Telah dipertahankan dihadapan Panitia Ujian dibentuk dalam rangka Penyelesaian
Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 08 Maret 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Ir. Syerly Klara, M.T.

NIP: 19640501 199002 2 001

Pembimbing Pendamping,

M. Iqbal Nikmatullah, S.T., M.T.

NIP: 19870131 201903 1 007

Ketua Program Studi,



Dr. Eng. Faisal Mahmuddin, ST., M.Inf.Tech., M.Eng

NIP: 19810211 200501 1 003



PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini;
Nama : Triana Khadijah Kadri
NIM : D091191086
Program Studi : Teknik Sistem Perkapalan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

**“PENGUNAAN *VORTEX GENERATOR* BERBENTUK SEGITIGA PADA
FITTING ELBOW SISTEM PENDINGIN KONDENSOR *AIR*
CONDITIONER”**

Adalah karya tulis saya sendiri dan bukan merupakan pengambilalihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 08 Maret 2024

Yang Menyatakan



Triana Khadijah Kadri



ABSTRAK

TRIANA KHADIJAH KADRI. Penggunaan *Vortex Generator* Berbentuk Segitiga Pada *Fitting Elbow* Sistem Pendingin Kondensor *Air Conditioner*. (Dibimbing oleh Ir. Syerly Klara, M.T., dan Muhammad Iqbal Nikmatullah, S.T., M.T.)

Kondensor merupakan salah satu komponen pendukung dari sistem pendingin ruangan di kapal. Perancangan sistem instalasi perpipaan pendingin kondensor cenderung menggunakan *fitting elbow* karena ketersediaan ruang yang terbatas. Perubahan aliran dan pengangkutan partikel yang melewati *elbow* menyebabkan terjadinya fenomena korosi erosi sehingga mempersingkat masa pakai yang membutuhkan penggantian. Salah satu alat yang digunakan dalam mengurangi korosi erosi pada pipa adalah *vortex generator*. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui besar laju aliran air laut pada sistem pendingin kondensor di kapal dengan penambahan *vortex generator* berbentuk segitiga dan mengetahui pengaruh variasi jarak *vortex generator* terhadap korosi erosi pada pipa. Dalam penelitian ini digunakan pemodelan CFD (*Computational Fluid Dynamic*) pada software ANSYS R2 2020 untuk mempresiksi kecepatan dan laju erosi pada aliran air laut dengan variasi 8 jarak *vortex generator* berbentuk segitiga. Didapatkan hasil berupa profil kecepatan dan laju erosi pada *elbow* pipa. Hasil simulasi CFD menunjukkan bahwa kecepatan fluida setelah penambahan *vortex generator* pada *elbow* pipa akan berkurang dari kecepatan fluida tanpa *vortex generator*, dengan nilai kecepatan terendah pada variasi model *vortex generator* 0,3R sebelum *inlet elbow* yaitu berkurang sebesar 0,361% dan semakin jauh jarak *vortex generator* dari *inlet*, maka semakin kecil nilai kecepatan dan laju erosi. Pemasangan *vortex generator* yang paling efisien untuk mengatasi masalah korosi erosi pada pipa *elbow* yaitu jarak 0.3R sebelum *inlet elbow* dengan nilai $4,29E-07$ kg/m²s ditinjau dari segi distribusi erosi permukaan *vortex generator* dan pipa yang relatif kecil area terdampak erosi dibandingkan dengan model *elbow* standar.

Kata kunci : Erosi, *Vortex Generator*, *Elbow*, CFD (*Computational Fluid Dynamic*)



ABSTRACT

TRIANA KHADIJAH KADRI. *The Use Of A Triangular-Shaped Vortex Generator On The Elbow Fittings Of The Condenser Air Conditioner Cooling System.* (Supervised by Ir. Syerly Klara, M.T., and Muhammad Iqbal Nikmatullah, S.T., M.T.)

The condenser is one of the supporting components of the air conditioning system on the ship. The design of the condenser cooling piping installation system tends to use elbow fittings due to limited space availability. Changes in the flow and transport of particles passing through the elbow cause the phenomenon of erosion corrosion, thus shortening the service life that requires replacement. One of the tools used in reducing erosion-corrosion in pipes is a vortex generator. The purpose of this study was to determine the magnitude of the flow rate of seawater in the condenser cooling system on ships with the addition of a triangular-shaped vortex generator and determine the effect of variations in the vortex generator distance on erosion-corrosion in the pipeline. In this study, CFD (Computational Fluid Dynamic) modeling was used in ANSYS R2 2020 software to predict the speed and rate of erosion in seawater flows with variations of 8 triangular-shaped vortex generators distances. Results are obtained in the form of speed profiles and erosion rates on pipe elbows. The CFD simulation results show that the fluid velocity after adding the vortex generator to the pipe elbow will decrease from the fluid velocity without the vortex generator, with the lowest velocity value in the vortex generator model variation 0,3R before the inlet elbow reduced 0,361% and the farther the vortex generator distance from the inlet, the smaller the velocity value and erosion rate. The most efficient vortex generator installation to overcome the problem of erosion-corrosion in the elbow pipe is a distance of 0.3R before the inlet elbow with the value-in terms of erosion distribution, the surface of the vortex generator and pipes is the relatively small area affected by erosion compared to the standard elbow model.

Keywords: *Erosion, Vortex Generator, Elbow, CFD (Computational Fluid Dynamic)*



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iii
ABSTRAK.....	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
KATA PENGANTAR.....	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Ruang Lingkup.....	3
1.6 Penelitian Sebelumnya.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Sistem Pendingin Ruang.....	5
2.1.1 Pendinginan Pada Kondensor.....	5
2.2 Fitting Elbow.....	6
2.3 Pengertian Korosi Erosi.....	6
2.3.1 Proses Pembentukan Korosi Erosi.....	7
2.4 Pengaruh Kecepatan Aliran Terhadap Korosi Erosi.....	9
2.5 Vortex Generator.....	12
2.6 Computational Fluid Dynamic.....	13
2.7 Model Prediksi Laju Erosi.....	14
2.8 Perhitungan <i>Lifetime</i>	16
BAB 3 METODE PENELITIAN/PERANCANGAN.....	18
3.1 Lokasi Penelitian.....	18
3.2 Studi Literatur.....	18
3.3 Pengumpulan Data.....	19
3.4 Tahapan Simulasi.....	20
3.5 Pemodelan.....	21
3.5.1 Model Standar.....	21
3.5.2 Model Penambahan <i>Vortex Generator</i> Segitiga.....	22
3.6 Simulasi CFD (<i>Computational Fluid Dynamic</i>).....	25
3.7 Validasi.....	25
3.8 Analisa Hasil dan Pembahasan.....	25
3.9 Kesimpulan.....	25
ram Alur.....	26
ASIL DAN PEMBAHASAN.....	26
aran Umum.....	27
lasi Menggunakan CFD (<i>Computational Fluid Dynamic</i>).....	27
Geometry Modelling.....	28



4.2.2 Meshing	29
4.2.3 Setup	30
4.2.4 Solution.....	30
4.2.5 Result	31
4.1 Pengaruh penambahan vortex generator terhadap laju aliran	31
4.1.1 Hasil Simulasi Aliran Model Elbow Standar.....	32
4.1.2 Hasil Simulasi Aliran Model Elbow Modifikasi	32
4.2 Modifikasi jarak vortex generator terhadap laju erosi	45
4.2.1 Hasil Simulasi Aliran Model Elbow Standar.....	46
4.2.1 Hasil Simulasi Aliran Model Elbow Modifikasi	48
4.2.3 Perhitungan laju erosi model oka	53
4.2.4 Perhitungan <i>Lifetime</i>	55
BAB 5.....	57
KESIMPULAN DAN SARAN.....	57
5.1 Kesimpulan	57
5.2 Saran.....	57
DAFTAR PUSTAKA	58



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 <i>Fitting elbow</i>	6
Gambar 2 Skema erosi: (a) sebelum tumbukan; (b) menghasilkan fokasi dan material menumpuk pada satu sisi lubang; (c) pemisahan material dari permukaan (Parsi, 2015)	8
Gambar 3 Dimensi <i>Elbow</i> Pipa Standar (Solnordal, et al., 2015).....	10
Gambar 4 Distribusi Kecepatan pada <i>Elbow</i> Standar pada Kecepatan 80 m/s (Solnordal, et al., 2015).....	11
Gambar 5 Vektor Kecepatan pada <i>Elbow</i> (Ebara, et al., 2016)	11
Gambar 6 Bentuk <i>vortex Generator</i> Limas Alas Segitiga (Ridha, 2018).....	12
Gambar 7 Bentuk <i>Vortex Generator Segitiga</i> pada <i>Elbow</i> Pipa (Rofiq, 2022)	13
Gambar 8 Tiga Langkah Simulasi Erosi CFD (Parsi, 2015).....	15
Gambar 9 Lokasi penelitian	18
Gambar 10 Model pipa <i>elbow</i> standar	21
Gambar 11 Model <i>vortex generator</i> berbentuk segitiga	22
Gambar 12 Tahapan Simulasi <i>Ansys Fluent R2 2020</i>	28
Gambar 13 Hasil <i>Import Geometry</i> model standar	28
Gambar 14 Hasil <i>meshing</i> model pipa	29
Gambar 15 Grafik Hasil <i>running</i> model pipa standar.....	31
Gambar 16 Kontur kecepatan aliran simulasi model standar.....	32
Gambar 17 Kontur kecepatan aliran simulasi model vortex jarak 351,8 mm.....	33
Gambar 18 Kontur kecepatan aliran simulasi model vortex jarak 363,2 mm.....	33
Gambar 19 Kontur kecepatan aliran simulasi model vortex jarak 374,6 mm.....	34
Gambar 20 Kontur kecepatan aliran simulasi model vortex jarak 386 mm.....	34
Gambar 21 Kontur kecepatan aliran simulasi model vortex jarak 397,4 mm.....	35
Gambar 22 Kontur kecepatan aliran simulasi model vortex jarak 408,8 mm.....	35
Gambar 23 Kontur kecepatan aliran simulasi model vortex jarak 420,2 mm.....	36
Gambar 24 Grafik hubungan jarak vortex generator terhadap nilai kecepatan	37
Gambar 25 Kontur kecepatan fluida pada potongan sebelum melewati <i>vortex generator</i>	38
Gambar 26 Pola aliran simulasi model standar.....	41
Gambar 27 Kontur kecepatan aliran simulasi model vortex jarak 351,8 mm.....	42
Gambar 28 Kontur kecepatan aliran simulasi model vortex jarak 363,2 mm.....	42
Gambar 29 Kontur kecepatan aliran simulasi model vortex jarak 374,6 mm.....	43
Gambar 30 Kontur kecepatan aliran simulasi model vortex jarak 386 mm.....	43
Gambar 31 Kontur kecepatan aliran simulasi model vortex jarak 397,4 mm.....	44
Gambar 32 Kontur kecepatan aliran simulasi model vortex jarak 408,8 mm.....	44
Gambar 33 Kontur kecepatan aliran simulasi model vortex jarak 420,2 mm.....	45
Gambar 34 Kontur laju erosi model standar	47
Gambar 35 Detail kontur laju erosi model standar	47
Gambar 36 Kontur laju erosi model vortex jarak 351,8 mm	48
37 Kontur laju erosi model vortex jarak 363,2 mm	49
38 Kontur laju erosi model vortex jarak 374,6 mm	49
39 Kontur laju erosi model vortex jarak 386 mm	50
40 Kontur laju erosi model vortex jarak 397,4 mm	50



Gambar 41 Kontur laju erosi model vortex jarak 408,8 mm	51
Gambar 42 Kontur laju erosi model vortex jarak 420,2 mm	51
Gambar 44 Grafik hubungan antara jarak <i>vortex generator</i> terhadap laju erosi... 53	
Gambar 45 Grafik nilai lifetime	56



DAFTAR TABEL

Tabel 1 Penelitian sebelumnya tentang pemodelan erosi menggunakan vortex generator.....	4
Tabel 2 Pengaruh kecepatan aliran terhadap laju korosi dalam media CH ₃ COOH.....	9
Tabel 3 Spesifikasi pipa	19
Tabel 4 Data spesifikasi pompa pendingin kondensor merk SihiZLKCD 65-12 di kapal TNI AL	20
Tabel 5 Jarak peletakan <i>vortex generator</i> pada <i>elbow</i>	23
Tabel 6 Informasi <i>mesh</i>	29
Tabel 7 Karakteristik kondisi model	30
Tabel 8 Parameter partikel <i>sand</i> dalam simulasi.....	30
Tabel 9 Kecepatan fluida pada tiap <i>elbow</i> modifikasi	36
Tabel 10 Kontur kecepatan fluida pada potongan setelah melewati <i>vortex generator</i>	38
Tabel 11 Nilai laju erosi tiap <i>elbow</i> modifikasi	52
Tabel 12 Hasil perhitungan nilai <i>lifetime</i>	55



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Geometri dan hasil <i>Mesh</i> Model 0.3R Sebelum <i>Inlet Elbow</i>	62
Lampiran 2 Grafik Hasil Simulasi Model 0.3R Sebelum <i>Inlet Elbow</i>	63
Lampiran 3 Geometri dan hasil <i>Mesh</i> Model 0.2R Sebelum <i>Inlet Elbow</i>	64
Lampiran 4 Grafik Hasil Simulasi Model 0.2R Sebelum <i>Inlet Elbow</i>	64
Lampiran 5 Geometri dan hasil <i>Mesh</i> Model 0.1R Sebelum <i>Inlet Elbow</i>	65
Lampiran 6 Grafik Hasil Simulasi Model 0.1R Sebelum <i>Inlet Elbow</i>	65
Lampiran 7 Geometri dan hasil <i>Mesh</i> Model R	66
Lampiran 8 Grafik Hasil Simulasi Model R	66
Lampiran 9 Geometri dan hasil <i>Mesh</i> Model 0.1R Setelah <i>Inlet Elbow</i>	67
Lampiran 10 Grafik Hasil Simulasi Model 0.1R Setelah <i>Inlet Elbow</i>	67
Lampiran 11 Geometri dan hasil <i>Mesh</i> Model 0.2R Setelah <i>Inlet Elbow</i>	68
Lampiran 12 Grafik Hasil Simulasi Model 0.2R Setelah <i>Inlet Elbow</i>	68
Lampiran 13 Geometri dan hasil <i>Mesh</i> Model 0.3R Setelah <i>Inlet Elbow</i>	69
Lampiran 14 Grafik Hasil Simulasi Model 0.3R Setelah <i>Inlet Elbow</i>	69



KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan Alhamdulillah segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan Rahmat dan hidayah-Nya sehingga dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “**Penggunaan Vortex Generator Berbentuk Segitiga Pada Fitting Elbow Sistem Pendingin Kondensor Air Conditioner**” untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik pada program studi Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari bahwa tugas skripsi ini masih jauh dari sempurna karena keterbatasan pengetahuan dan kemampuan dari penulis sebagai manusia biasa. Oleh karena itu penulis memohon maaf atas semua kekurangan dan kesalahan yang terjadi dalam penulisan skripsi ini dan berharap masukan serta saran agar kedepannya penulis dapat lebih baik lagi.

Skripsi ini tentunya tidak lepas dari bimbingan, masukan, dan arahan dari berbagai pihak. Untuk itu, pada kesempatan ini saya ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah Subhanawata’alah yang telah memberikan Kesehatan, kesabaran, dan kelancaran dalam proses perkuliahan dan penulisan skripsi ini.
2. Kedua orang tua saya **Drs. Abdul Kadir M.Pd** dan **Indriany Ismail S.Pd** serta saudara saya **Putri Awalia Kadri, alm Febrina Suci Dwi Kadri, dan Meiga Artiwati Kadri** yang senantiasa mendoakan saya dan memberikan dukungan secara moral dan material.
3. Bapak **Dr. Eng Faisal mahmuddin S.T., M.Eng** selaku ketua Departemen Teknik Sistem Perkapalan serta dosen penguji skripsi ini yang telah meluangkan waktu dan memberikan arahan dalam penyelesaian skripsi ini.
4. **Ibu Ir. Syerly Klara, M.T** dan **Bapak Muhammad Iqbal Nikmatullah, S.T., M.T** sebagai dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu memberikan bimbingan, dukungan dan motivasi dalam menyelesaikan skripsi ini.



5. **Bapak Prof. Ir. Andi Haris Muhammad, S.T., M.T., Ph.D** selaku dosen penguji yang telah meluangkan waktu dan memberikan arahan dalam penyelesaian skripsi ini.
6. **Seluruh dosen, staff, dan karyawan** Departemen Teknik Sistem Perkapalan fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
7. Teman-teman **KORTNOZZLE** yang telah kebersamai dan membantu penulis selama masa perkuliahan.
8. **Muhammad Fadhil Pratama** yang telah meminjamkan laptop untuk sampai skripsi ini selesai.
9. **Chaerunisa Rhoudatuljannah, Juwita Nurdin, Fariyah Huseng** yang telah menyemangati dan kebersamai saya selama perkuliahan dan pengerjaan skripsi ini.
10. Teman-teman **Kekin** yang telah kebersamai dan menyemangati saya.
11. Teman-teman **Sederet** yang telah kebersamai dan menyemangati saya selama perkuliahan.

Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis secara pribadi serta pada pembaca yang menjadikan skripsi ini sebagai acuan atau pedoman dalam pembelajaran ataupun dalam menyusun skripsi. Segala kekurangan dalam penelitian ini diharapkan menjadi pembelajaran kedepannya. Semoga Allah SWT senantiasa memberikan rahmat dan hidayah-Nya pada kita semua.

Gowa, 7 Maret 2024

Triana Khadijah Kadri



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem pendingin ruangan (*Air Conditioner*) semakin banyak dimanfaatkan di kapal. Penggunaan yang umum pada sistem pendingin ruangan adalah untuk memberikan udara yang nyaman pada ruang akomodasi di kapal. Sistem pendingin ruangan sangat penting untuk kenyamanan di atas kapal, sehingga perawatan yang baik dan memastikan komponen dari sistem tersebut dalam kondisi baik sangat diperlukan (Sumanto, 2018).

Kondensor merupakan salah satu komponen pendukung dari sistem pendingin ruangan di kapal. Kondensor adalah suatu alat yang terdiri dari jaringan pipa dan digunakan untuk mengubah uap menjadi zat cair (air). Untuk melepas panas dari sistem, kondensor didinginkan dengan air sebagai pendingin. Air pendingin kondensor dalam kasus ini berasal dari air laut yang dipompa dari *sea chest* menuju kondensor.

Perancangan sistem instalasi perpipaan pendingin kondensor diharapkan menghasilkan jaringan instalasi pipa yang efisien dari segi peletakan maupun keamanan dalam pengoperasian. Dengan ketersediaan ruang yang terbatas, sistem instalasi perpipaan cenderung menggunakan *fitting* atau penambahan instalasi lebih banyak agar fluida yang dialirkan dapat mencapai tujuan.

Sambungan atau *fitting* pada sistem instalasi perpipaan berfungsi untuk menyebarkan aliran, merubah aliran, memperbesar atau memperkecil aliran. *Fitting elbow* sendiri berfungsi untuk membelokkan arah aliran dalam instalasi sistem perpipaan. Kerusakan yang terjadi pada *fitting elbow* disebabkan karena adanya perubahan sudut sehingga terjadi kecepatan aliran yang berlebih dan aliran yang tak menentu mengenai dinding *fitting elbow* yang mengakibatkan penipisan dinding (Prastowo, et al., 2017). Fenomena tersebut dikenal dengan korosi erosi.



Korosi erosi yang terjadi pada perpipaan dapat mengurangi sistem kerja yang pada akhirnya dapat menimbulkan kerusakan parah apabila pipa ini kondisi tekanan operasi oleh fluida yang ada di dalamnya

(Khalajestani, et al., 2015). Hal itu dikarenakan sistem perpipaan mengalami penipisan dinding yang cepat sehingga berpotensi mempersingkat masa pakai, menyebabkan kecelakaan keselamatan serius yang menyebabkan banyak korban jiwa dan kerugian ekonomi untuk kasus ini (Zongwu, et al., 2020).

Penelitian korosi erosi pada sistem perpipaan sudah banyak dilakukan untuk mengungkap pengaruh karakteristik aliran dari berbagai kondisi fluida. Sebagai contoh dengan penggunaan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD) untuk mengetahui perilaku fluida terhadap korosi erosi di dalam *elbow* berbahan baja karbon (Zhang, et al., 2013). Berdasarkan penelitian tersebut didapatkan hasil bahwa laju korosi erosi yang terjadi pada dinding dalam *elbow* bersesuaian dengan laju aliran fluida di dalamnya.

Salah satu alat yang digunakan untuk mengurangi korosi erosi dengan menciptakan pola aliran fluida yang mengurangi kecepatan aliran dan mengurangi turbulensi di dalam pipa adalah dengan memasang *vortex generator* pada sistem perpipaan. Pemasangan *vortex generator* pada sebuah desain pipa dengan simulasi CFD telah dilakukan sebelumnya (Ridha, 2018). Hasil penelitian tersebut didapatkan bahwa penambahan *vortex generator* atau pengacau aliran terbukti mengurangi kecepatan aliran berlebih pada bagian terdampak korosi erosi. Dari penelitian tersebut juga didapatkan hasil untuk peletakan *vortex generator* paling efisien dalam menyelesaikan permasalahan erosi korosi pada pipa vertikal yaitu pada jarak $0.1 R$ sebelum radius *elbow* yang dimana R diasumsikan besarnya radius pada *elbow*. Pada penelitian lainnya (Rofiq, 2022), pemasangan *vortex generator* berbentuk segitiga merupakan model yang paling efektif mengurangi laju erosi dan memiliki nilai *lifetime* yang optimal.

Penelitian ini, melanjutkan penelitian sebelumnya (Ridha, 2018) yaitu menganalisa penggunaan *vortex generator* berbentuk segitiga pada sistem pendingin kondensor *air conditioner* terhadap laju aliran fluida dan laju erosi pada *fitting elbow* dengan menggunakan *software* komputasi dinamika fluida. Sehingga penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan penempatan dan jumlah *vortex*



1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah dari penelitian tugas akhir ini adalah:

1. Berapa besar perubahan laju aliran air laut pada sistem pendingin kondensor di kapal dengan penambahan *vortex generator* berbentuk segitiga?
2. Bagaimana pengaruh variasi penempatan *vortex generator* berbentuk segitiga terhadap laju erosi pada pipa?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah:

1. Mengetahui perubahan laju aliran air laut pada sistem pendingin kondensor di kapal dengan penambahan *vortex generator* berbentuk segitiga.
2. Mengetahui pengaruh variasi penempatan *vortex generator* berbentuk segitiga terhadap korosi erosi pada pipa.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Dapat menjadi referensi penggunaan *vortex generator* pada sistem pendingin kondensor di kapal.
2. Dapat menjadi referensi dalam penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan masalah ini.

1.5 Ruang Lingkup

Penulis memberikan batasan masalah dalam penelitian tugas akhir ini agar permasalahan yang dibahas tidak terlalu melebar. Adapun batasan masalah dari

ini adalah:

penelitian hanya sebatas *fitting elbow* pada sistem pendingin di kapal

penelitian dilakukan pada kapal TNI Angkatan Laut



3. Simulasi dilakukan dengan menggunakan *software ANSYS Fluent 2020*
4. Validasi terkait hasil simulasi laju erosi yang telah dilakukan akan menggunakan perhitungan numerik persamaan erosi model Oka.

1.6 Penelitian Sebelumnya

Tabel 1 Penelitian sebelumnya tentang pemodelan erosi menggunakan vortex generator

No	Peneliti, Tahun	Judul	Hasil	Perbedaan
1	Hamzah Fansyuri, 2017	Analisa kerusakan <i>fitting elbow</i> pada sistem pendingin kondensor <i>air conditioner</i>	Dengan penambahan <i>vortex generator</i> atau sistem pengacau aliran terbukti dapat mengurangi kecepatan aliran berlebih pada bagian terdampak korosi erosi di dalam pipa.	Menggunakan <i>vortex generator</i> berbentuk limas dengan diameter 62.3 mm sebagai perbandingan laju erosi dengan tanpa vortex
2	Ahmad Ridha, 2018	Analisa fluida pada <i>elbow pipa</i> akibat penambahan <i>vortex generator</i> berdasarkan perbedaan parameter D/Re (Diameter/Reynold)	Peletakan <i>vortex generator</i> sebelum radius <i>elbow</i> merupakan hasil yang paling efisien untuk menyelesaikan erosi korosi pada pipa dibandingkan dengan peletakan <i>vortex generator</i> tepat pada <i>inlet elbow</i> .	Menggunakan <i>vortex generator</i> berbentuk limas dengan diameter 62.3 mm dengan variasi jarak <i>vortex generator</i> 0.1R sebelum <i>inlet elbow</i> dan tepat pada <i>inlet elbow</i>
3	Ainur Rofiq, 2022	Analisa penggunaan <i>vortex generator</i> pada <i>elbow</i> pipa untuk mengurangi laju erosi pada sistem perpipaan kapal	Model segitiga 2 merupakan model yang paling efektif mengurangi laju erosi dengan nilai $7,771 \times 10^{-7} \text{ kg/m}^2\text{s}$ dan juga memiliki nilai lifetime paling optimal yaitu $2,377 \times 10^2$.	Menggunakan <i>vortex generator</i> berbentuk segitiga, limas, kotak, elips, trapesium dengan diameter 52 mm dengan jarak peletakan vortex yang digunakan adalah 0.1R setelah <i>inlet elbow</i> .



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Pendingin Ruangan

Pendingin ruangan adalah suatu alat untuk mengkondisikan udara. Beberapa komponen pendingin ruangan yaitu kompresor yang berfungsi mengubah fluida kerja menjadi gas dari gas bertekanan rendah ke gas yang bertekanan tinggi dimana nantinya gas bertekanan tinggi tersebut dialirkan menuju ke kondensor. Di dalam kondensor gas bertekanan tinggi berubah menjadi cairan yang bertekanan tinggi yang selanjutnya dialirkan ke katup ekspansi, dimana cairan yg bertekanan tinggi tersebut diturunkan suhunya menjadi cairan dingin bertekanan rendah (Dewadi, 2021).

2.1.1 Pendinginan Pada Kondensor

Kondensor adalah suatu alat untuk mendinginkan gas dalam keadaan bertekanan dan temperatur tinggi keluar dari kompresor didinginkan dan diubah menjadi cairan yang masih mempunyai tekanan. Didalam kondensor zat pendingin dalam bentuk gas dan bertekanan didinginkan oleh media pendingin (air laut) menjadi bentuk cair tetapi masih bertekanan tinggi. (Sumanto, 2018).

Prinsip kerja kondensor tergantung dari jenis kondensor tersebut, secara umum terdapat dua jenis kondensor yaitu *direct contact condenser* dan *surface condenser*. Pendinginan pada *direct contact condenser* dengan cara mencampurkan air pendingin dan uap secara langsung. Sedangkan pendinginan pada *surface condenser* dengan cara mengalirkan uap dalam ruangan yang berisi susunan pipa sehingga akan memenuhi permukaan luar pipa. Air yang berfungsi sebagai pendingin akan mengalir di dalam pipa (*tube side*), sehingga terjadi kontak antara keduanya dan terjadi penyerapan kalor dan kondensasi. Oleh karena itu air pendingin memiliki peranan penting dalam menjaga kelancaran asian sistem pendingin udara untuk mempertahankan suhu pada semua modasi kapal. Air pendingin biasanya didapatkan dari air laut yang di



pompa menuju kondensor seperti skema sistem pendingin ruang akomodasi kapal yang dapat dilihat pada Lampiran 1.

2.2 Fitting Elbow

Fitting atau sambungan adalah bagian dari suatu instalasi perpipaan yang berfungsi untuk penyambung antar pipa dan sebagai akhir atau *outlet fitting*. Salah satu jenis sambungan yaitu *elbow*. *Elbow* merupakan komponen perpipaan yang berfungsi untuk membelokkan arah aliran. Jenis yang paling umum pada *elbow* yaitu 45° dan 90°. Untuk memperoleh sudut selain sudut tersebut, terkadang *elbow* tersebut dipotong atau dapat menggunakan dua *elbow* yang disatukan untuk memperoleh sudut tertentu. *Elbow* dibagi menjadi dua tipe, *tipe short radius* dan *long radius*. Namun umumnya digunakan *long radius*, yang memiliki diameter belokan 1.5 kali NSP (*Nominal Pipe Size*)nya.



Gambar 1 *Fitting elbow*

Sumber: <https://id.wzcl-steel.com/>

2.3 Pengertian Korosi Erosi



Korosi adalah perusakan atau penurunan mutu dari material akibat bereaksi lingkungan, dalam hal ini adalah interaksi secara kimiawi. Sedangkan penurunan mutu yang diakibatkan interaksi secara fisik bukan disebut korosi, biasanya dikenal sebagai erosi dan keausan. Erosi merupakan proses

pengikisan material permukaan dinding karena deformasi mikromekanis atau hasil gabungan dari lingkungan kimia yang agresif dan memiliki kecepatan cairan yang tinggi (Krisnanda, et al., 2019). Masalah ini dapat terjadi akibat aliran fluida memiliki kecepatan tinggi melewati suatu benda atau dapat disebabkan oleh gerakan yang cepat benda dalam fluida, seperti baling-baling kapal yang menghantam fluida. Keausan umumnya didefinisikan sebagai kehilangan material secara progresif atau pemindahan sejumlah material dari suatu permukaan sebagai suatu hasil pergerakan relatif antara permukaan tersebut dan permukaan lainnya. Keausan telah menjadi perhatian praktis sejak lama, tetapi hingga beberapa saat lamanya masih belum mendapatkan penjelasan ilmiah yang besar sebagaimana halnya pada mekanisme kerusakan akibat pembebanan tarik, impak, puntir atau *fatigue*. Hal ini disebabkan masih lebih mudah untuk mengganti komponen/part suatu sistem dibandingkan melakukan desain komponen dengan ketahanan/umur pakai (*life*) yang lama.

Pembahasan mekanisme keausan pada material berhubungan erat dengan gesekan (*friction*) dan pelumasan (*lubrication*). Keausan bukan merupakan sifat dasar material, melainkan respons material terhadap sistem luar (kontak permukaan). Material apapun dapat mengalami keausan disebabkan mekanisme yang beragam.

Korosi erosi merupakan jenis korosi yang menggunakan proses mekanik melalui pergerakan relatif antara aliran gas atau cairan korosif dengan logam. Dalam hal ini perusakan karena erosi dan korosi saling mendukung. Logam yang telah terkena erosi akibat terjadi keausan dan menimbulkan bagian-bagian yang tajam dan kasar. Bagian-bagian inilah yang mudah terserang korosi dan bila ada gesekan akan menimbulkan abrasi lebih berat lagi dan seterusnya. Korosi erosi dapat juga disebabkan karena impingment corrosion, yaitu akibat fluida sangat deras dan dapat mengikis film pelindung pada logam yang mengakibatkan korosi pada logam. Korosi erosi dapat ditemukan pada sistem perpipaan (terutama pada bend, *elbow*, dan *joint*), *valve*, pompa, *nozzle*, *heat exchangers*, *turbine blades* dll.

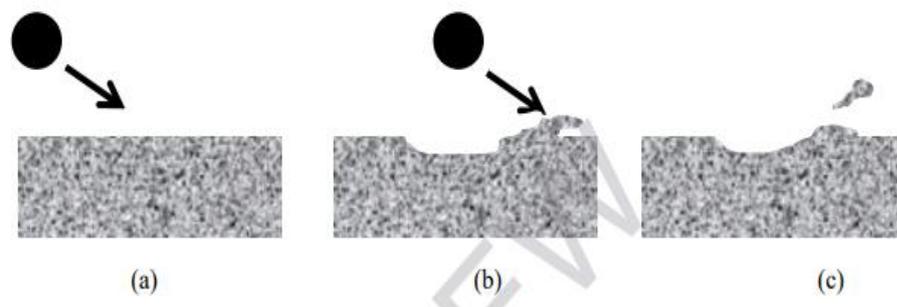


Proses Pembentukan Korosi Erosi

Proses terjadinya korosi erosi secara umum melalui beberapa tahap berikut:

1. Pada tahap pertama terjadi serangan oleh aliran yang sangat deras yang nantinya akan berakibat pada mengikisnya lapisan pelindung logam.
2. Pada tahap kedua akan timbul bagian-bagian yang kasar pada permukaan logam.
3. Pada tahap ketiga, laju korosi semakin meningkat karena lapisan pelindung telah hilang. Saat suatu aliran atau partikel menumbuk permukaan pada sudut sempit, hal ini akan menghasilkan cekungan atau lubang sehingga permukaan logam menjadi tidak rata. Bila aliran terus mengalir, maka partikel lain yang menumbuk akan membuat lubang menjadi semakin besar dan juga menumpuk pada sekitar lubang.

(Bellman, et al., 1981) mengajukan sebuah mekanisme erosi makroskopik dan berpendapat bahwa partikel yang menghantam permukaan akan menghasilkan lubang dangkal yang tampak seperti potongan trombosit. Trombosit tersebut mudah untuk dipisahkan dari permukaan dengan partikel yang menghantam selanjutnya. Selama pembentukan trombosit, terjadinya pemanasan geser adiabatik pada permukaan dan terjadi pergeseran kerja di bawah permukaan yang membantu pembentukan trombosit dalam pada tingkat erosi yang lebih tinggi untuk kondisi baik dibandingkan dengan laju erosi awal.



Gambar 2 Skema erosi: (a) sebelum tumbukan; (b) menghasilkan fokasi dan material menumpuk pada satu sisi lubang; (c) pemisahan material dari permukaan

(Parsi, 2015)



2.4 Pengaruh Kecepatan Aliran Terhadap Korosi Erosi

Kecepatan fluida sangat berpengaruh pada peristiwa erosi-korosi. Pada saat fluida diam atau kecepatan fluida sangat lambat, proses korosi akan sangat dominan. Peristiwa erosi-korosi amat ditentukan oleh kecepatan fluida, korosi akan lebih dominan jika kecepatan fluida amat lambat, hal ini dikarenakan oleh lamanya waktu kontak, jika kecepatan fluida amat tinggi maka erosi yang akan lebih dominan.

Besarnya kecepatan fluida sangat berpengaruh terhadap bentuk kerusakan yang terjadi pada benda kerja. Pada kecepatan yang relatif rendah akan menyebabkan terjadinya korosi yang berbentuk *pitting* (Panaras & Lu, 2015). Sedangkan pada kecepatan tinggi, bentuk kerusakan yang terjadi pada permukaan bagian dalam pipa akan membentuk kerusakan *horseshoe*.

Kecepatan kritis merupakan batas kecepatan dari suatu material mengalami kerusakan lapisan pelindung yang akan mempermudah terjadinya korosi merupakan *critical velocity* untuk beberapa material. Kecepatan kritis ditentukan oleh media fluida, partikel dan sifat logamnya.

Berdasarkan penelitian (Yaqin, 2016) terkait pengaruh laju aliran terhadap baja JIS G3131 SPCH, sedikit menjelaskan terkait pengaruh laju aliran terhadap laju korosi. Berikut hasil penelitian tersebut:

Tabel 2 Pengaruh kecepatan aliran terhadap laju korosi dalam media CH_3COOH

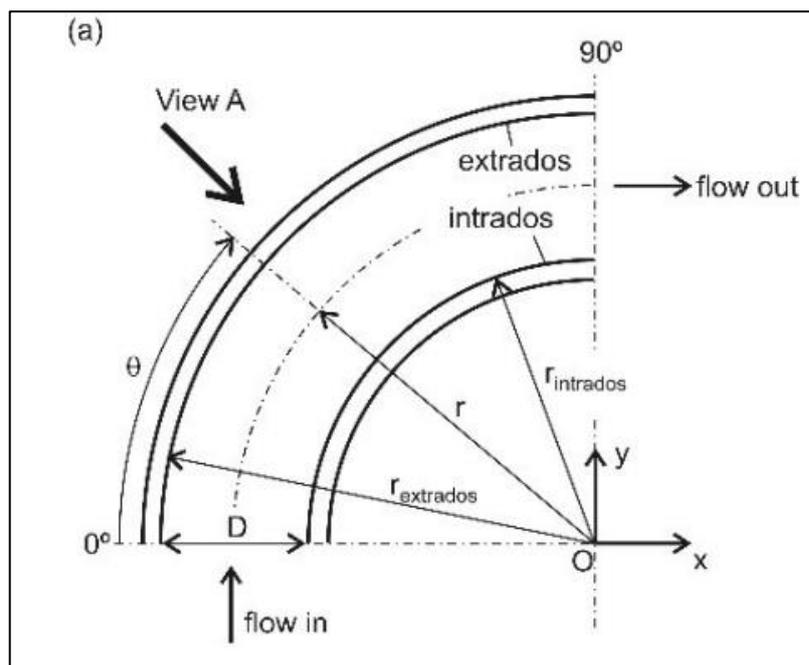
Kecepatan aliran (m/s)	Icorr ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	CR (mm/year)
0	10,29	0,119
0,645	32,54	0,378
1,328	51,61	0,599

Dari tabel 2 dapat diketahui bahwa adanya perbedaan laju korosi setiap adanya perbedaan kecepatan. Jika dibandingkan antara laju korosi ketika kecepatan fluida sebesar 0 m/s berbeda jauh dengan laju korosi ketika fluida memiliki kecepatan 1,328 m/s. Hal tersebut jika dikaitkan dengan pengaruh laju terhadap laju erosi, dimana laju aliran turbulen adalah meningkatkan laju korosi sehingga laju korosi akan meningkat.



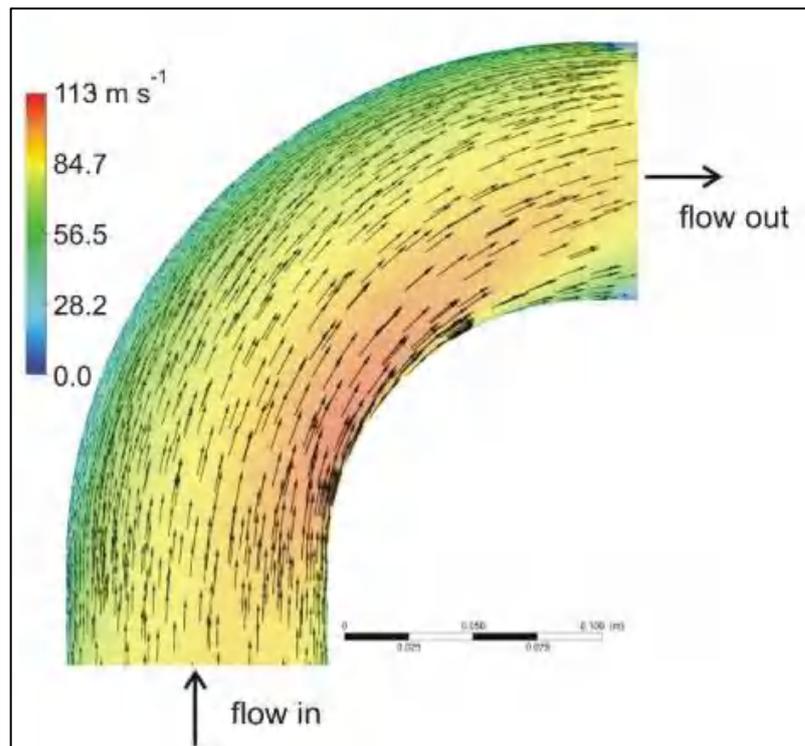
Sebuah kemungkinan yang dapat dijelaskan untuk hal ini adalah bahwa pada kecepatan rendah, meskipun partikel padat berhasil merusak lapisan pasif, tidak semua partikel padat berhasil menghapus lapisan tersebut, oleh sebab itu efek sinergis yang terjadi lebih tinggi dibandingkan erosi. Pada kecepatan yang lebih tinggi ada energi kinetik yang cukup untuk merusak material oleh impact partikel padat sehingga laju korosi-erosi yang terjadi lebih didominasi oleh aspek mekanik dari proses erosi.

Pada penelitian eksperimen (Solnordal, et al., 2015) dan (Ebara, et al., 2016) dapat dilihat pada gambar 4 dan gambar 5 sebagai contoh dari hasil CFD dari variable pertama, kecepatan fluida meningkat secara signifikan saat arahnya berbelok pada sudut belokan 90° . Dengan kecepatan fluida yang semakin tinggi dapat dilihat perbandingan pada gambar 3 dimana daerah terpisah semakin luas. *Separated region* merupakan wilayah berkecepatan rendah pada bagian inti dalam pipa (*intrados*).

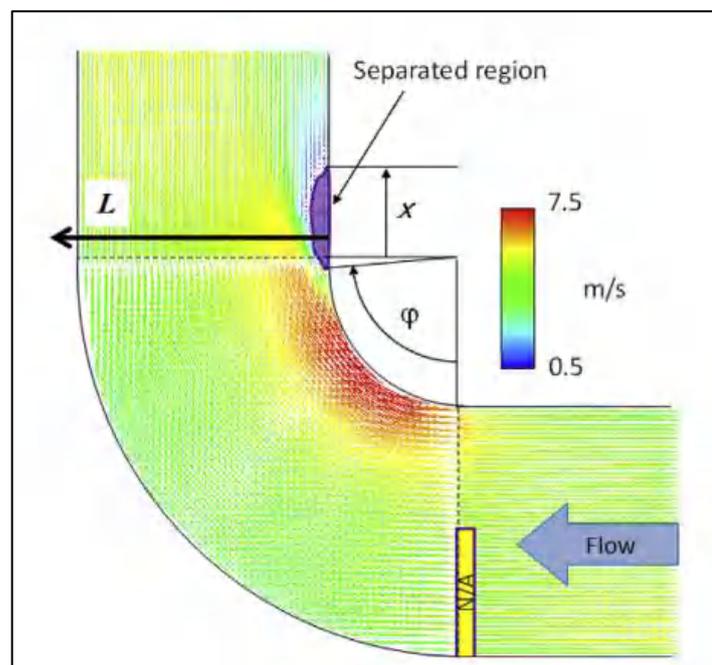


Gambar 3 Dimensi *Elbow* Pipa Standar (Solnordal, et al., 2015)





Gambar 4 Distribusi Kecepatan pada *Elbow* Standar pada Kecepatan 80 m/s (Solnordal, et al., 2015)



Gambar 5 Vektor Kecepatan pada *Elbow* (Ebara, et al., 2016)



la peristiwa korosi erosi dimana kerusakan yang terjadi oleh fluida satu
 t laju korosi terakselerasi oleh meningkatnya turbulensi dan transfer
 ng diakibatkan oleh naiknya kecepatan, dikenal dengan *Flow-accelerated*

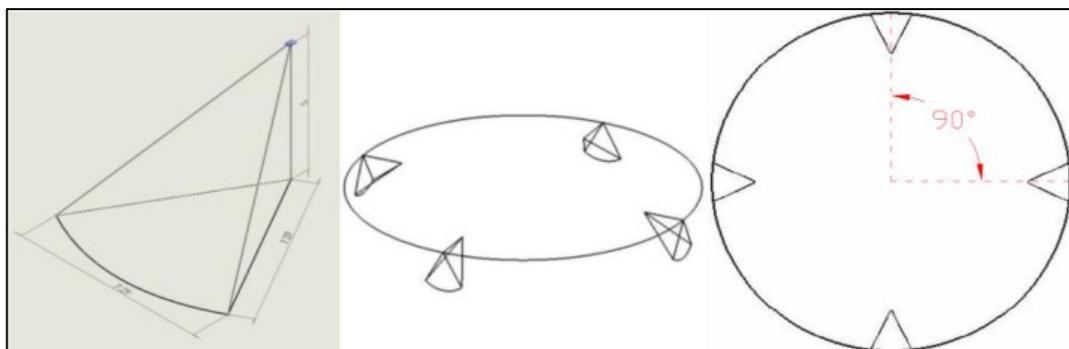
corrosion (FAC). Pada erosi-korosi aliran fluida dapat merusak lapisan film pada permukaan material dengan gaya mekanik dari fasa kedua seperti padatan, gas, dll. Mekanisme *Flow-accelerated corrosion (FAC)* dapat diketahui melalui kontur permukaan yang berpola dan memiliki arah pada polanya, disebabkan oleh aliran medianya tanpa adanya coakan akibat adanya deformasi.

2.5 Vortex Generator

Vortex generator adalah permukaan aerodinamis yang terdiri dari baling baling kecil yang menciptakan *vortex* dan biasa di gunakan pada desain pesawat. *Vortex generator* melambatkan aliran pemisahan dan mengulur-ulur aerodinamis, dengan demikian meningkatkan efektifitas sayap dan kontrol permukaan.

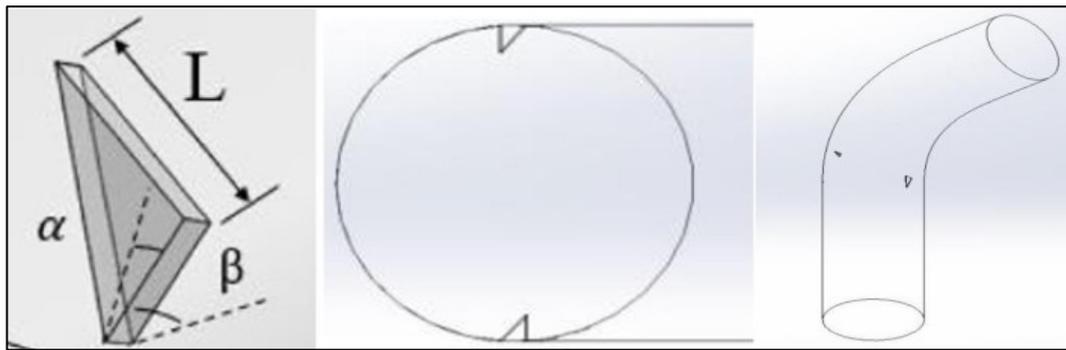
Vortex generator merupakan komponen yang akan memperluas permukaan di dalam saluran, menciptakan turbulensi aliran, dan menciptakan *secondary flow* sehingga terjadi peningkatan intensitas turbulensi pada saluran (Putra, 2016). Aplikasi pemanfaatan *vortex generator* dalam saluran berpenampang lingkaran seperti pencampuran dan pemisahan material, industri kimia, pembangkit tenaga nuklir, dan pabrik pengolahan (Xu, et al., 2017)

Vortex generator tersebut di implemetasikan atau diterapkan di dalam sistem perpipaan terutama pada elbow pipa dengan tujuan aliran fluida yang sangat cepat mengalir di dalam pipa dan membentur dinding *elbow* dapat berkurang atau melambat supaya mengurangi korosi erosi pada pipa.



Jambar 6 Bentuk *vortex Generator* Limas Alas Segitiga (Ridha, 2018)





Gambar 7 Bentuk *Vortex Generator Segitiga* pada *Elbow Pipa* (Rofiq, 2022)

2.6 Computational Fluid Dynamic

Computational Fluid Dynamics (CFD) merupakan perangkat numerik yang diaplikasikan untuk mendapatkan perkiraan solusi dari masalah fluida dinamis dan perpindahan panas. Tujuan dari CFD adalah untuk memprediksi secara akurat tentang aliran fluida, perpindahan panas, dan reaksi kimia dalam sistem yang kompleks, yang melibatkan satu atau semua fenomena di atas.

Sebuah pendekatan numerik digunakan sebagai prosedur komputasi untuk mencari sebuah pendekatan terhadap solusi. Pendekatan ini mengungguli secara teoritis dan eksperimen pada beberapa aspek penting seperti keuniversalan, fleksibilitas, akurasi, dan biaya. Ada beberapa keuntungan dari penggunaan metode CFD yaitu:

1. Menekan biaya dan waktu dalam mendesain suatu produk, jika proses desain tersebut dilakukan dengan uji eksperimen dengan akurasi tinggi.
2. Mempunyai kemampuan sistem studi yang dapat mengendalikan percobaan yang sulit atau tidak mungkin dilakukan melalui eksperimen.
3. Mempunyai kemampuan untuk sistem studi di bawah kondisi berbahaya pada saat atau sesudah melewati titik kritis (termasuk studi keselamatan dan skenario kecelakaan).

Code Computational Fluid Dynamics terdiri dari tiga elemen utama yaitu:

1. *Pre Processor*



Tahapan ini merupakan tahapan awal ketika akan melakukan proses mulasi. Pada tahap ini terdiri dari pemodelan serta pembuatan mesh yang sesuai. Pemodelan dapat dilakukan di luar software simulasi atau dapat

juga melakukan pemodelan pada software simulasi tersebut. Pada tugas akhir ini model berupa elbow akan dilakukan pemodelan dengan menggunakan software Solid Works. Setelah pemodelan telah dilakukan maka tahapan selanjutnya adalah melakukan proses mesh pada software ANSYS. Proses *meshing* bertujuan untuk membuat model agar terdiri dari beberapa susunan atau yang lazim disebut *cell* agar model dapat dijalankan dan dianalisa oleh solver ANSYS. Pada tahap *meshing* juga akan dilakukan penentuan batas batas model yang akan dilakukan pengujian.

2. *Solver Manager*

Merupakan tahapan utama dari simulasi dengan CFD, yaitu dengan melakukan iterasi atau perhitungan terhadap kondisi-kondisi batas yang telah ditentukan dalam tahapan *preprocessing*. Dalam proses ini data-data mengenai karakteristik kondisi batas dan material atau jenis fluida yang digunakan dimasukkan ke dalam program.

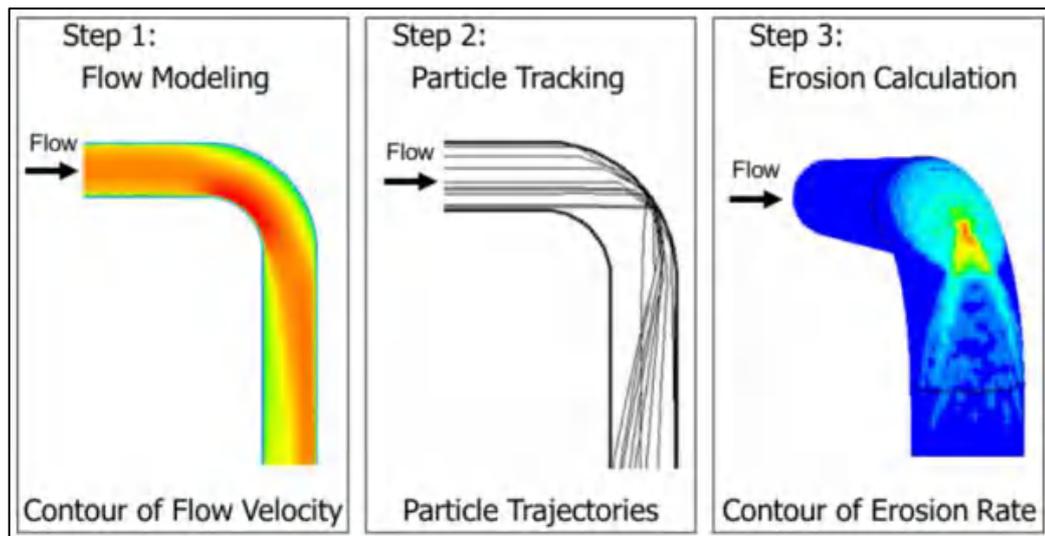
3. *Post Processor*

Postprocessing adalah langkah terakhir dalam analisis CFD. Hal yang dilakukan pada langkah ini adalah mengolah dan menginterpretasi data hasil simulasi CFD yang bisa berupa data, gambar, grafik ataupun animasi.

2.7 Model Prediksi Laju Erosi

Pemodelan erosi berbasis CFD mencakup 3 langkah yaitu simulasi aliran dari fluida kontinu, pelepasan partikel pada medan aliran dan perhitungan erosi berdasarkan informasi dampak partikel seperti pada gambar 8





Gambar 8 Tiga Langkah Simulasi Erosi CFD (Parsi, 2015)

Sebuah partikel yang menghantam permukaan suatu material dapat mempengaruhi ketahanan dari dinding material tersebut tergantung pada permukaan material, ukuran partikel, dan sudut impact. Jika sebuah partikel menghantam permukaan dengan sudut impact yang sempit, akan menghasilkan lubang. Partikel lain yang menghantam akan membuat lubang menjadi semakin besar dan juga menumpuk material sekitar lubang (Finnie, 1960).

Mengidentifikasi banyaknya parameter yang mempengaruhi fenomena erosi partikel padat merupakan hal penting untuk mengembangkan model erosi yang akurat. Clark mencantumkan beberapa parameter yang terbukti sebagai salah satu factor yang mempengaruhi erosi, antara lain: kecepatan impact partikel, sudut impact, ukuran partikel, bentuk partikel, bahan partikel, sifat fluida, sifat permukaan material dan lainnya. (Clark, 2002).

Pada model erosi Oka dikembangkan berdasarkan pengujian yang dilakukan pada beberapa jenis material seperti besi murni, aluminium, baja karbon dan *stainless*. Laju erosi akibat tumbukan partikel dengan material target pada sudut tumbukan (Oka, et al., 2005) dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$E = E_{90} g(\alpha) \quad (4)$$

$$E_{90} = K(Hv)^{k1} \left(\frac{v}{v'}\right)^{k2} \left(\frac{D}{D'}\right)^{k3} \quad (5)$$



: Laju erosi (mm/kg)

- E_{90} : Laju erosi pada sudut 90° (65 mm/kg)
 Hv : Hardness dinding material Vickers (GPa)
 v : Kecepatan tumbukan partikel (104 m/s)
 v' : Kecepatan referensi tumbukan partikel (m/s)
 D : Diameter partikel (μm)
 D' : Diameter referensi partikel (326 μm)
 $g(\alpha)$: Fungsi sudut impact

Fungsi sudut impact sebagai berikut:

$$g(\alpha) = (\sin \alpha)^{n1} + (1 + Hv(\sin \alpha))^{n2} \quad (6)$$

α merupakan dinding sudut impact dalam bentuk radian (rad), sedangkan ($n1$ dan $n2$) adalah konstanta fungsi sudut impact. Konstanta K dan eksponen $k1, k3$ ditentukan berdasarkan jenis partikelnya dan eksponen $k2$ ditentukan berdasarkan kekerasan material dan ikatan partikel.

2.8 Perhitungan *Lifetime*

Perhitungan *lifetime* atau masa pakai (*lifetime calculation*) merupakan salah satu bagian penting dalam proses perancangan produk atau sistem yang aman dan tahan lama. Perhitungan *lifetime* dilakukan untuk menentukan waktu atau jumlah siklus penggunaan suatu produk atau sistem sebelum terjadi kerusakan atau kegagalan.

Metode perhitungan *lifetime* yang tepat sangat penting dalam menjamin keamanan dan kinerja produk atau sistem. Beberapa metode yang umum digunakan dalam perhitungan *lifetime*, seperti metode model fisik, analisis keandalan, metode statistik, dan metode simulasi. Pemilihan metode yang tepat tergantung pada jenis produk atau sistem yang akan dirancang dan data yang tersedia.

Untuk suatu sistem perpipaan, dapat menghitung nilai ketebalan minimum material dalam menahan tekanan fluida yang mengalir. Terdapat beberapa r yang digunakan untuk menghitung nilai minimum *thickness* ya nilai *allowable stress* material dan *pressure* fluida. ASME B31.3



section 304.2 mengatur tentang minimal ketebalan komponen perpipaan, sehingga persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$t = \frac{P.D}{2(S.E.+0.4P)} \quad (7)$$

Dimana:

t : Ketebalan desain tekanan (mm)

P : Tekanan desain internal (psi)

D : Diameter luar pipa (mm)

S : Nilai tegangan yang diijinkan (Psi)

E : Efisiensi joint ($E = 1$)

Perhitungan *lifetime* digunakan untuk menentukan ketahanan komonen perpipaan terhadap pengikisan dinding bagian dalam komponen perpipaan atau *erosion rate*, mengacu pada API 570 *Inspection, Repair, Alteration, and Retaring of In-Service Piping System*, dengan persamaan sebagai berikut:

$$t_r = \frac{(t_{acc}-t_m)}{E_L} \quad (8)$$

Dimana:

T_r : *Remant lifetime (years)*

t_{acc} : *Tickness actual (mm)*

t_m : *Tickness minimum (mm)*

E_L : *Erosion rate (mm/years)*

