

HALAMAN PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
INTISARI.....	xv
<i>ABSTRACT</i>	xvi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Konsep Umum Jembatan <i>Cable-Stayed</i>	5
2.2 Perkembangan Penelitian dan Studi Terdahulu	6
2.3 Pengaruh Panjang Bentang terhadap Frekuensi Alami Jembatan.....	7
2.4 Rasio Lebar terhadap Panjang Bentang dan Pengaruhnya terhadap Stabilitas	10
2.5 Pengaruh Tinggi Girder terhadap Stabilitas Aerodinamis	14
2.6 Pengaruh Kekakuan Pylon Terhadap Stabilitas Jembatan Cable Stayed.....	15
2.7 Pengaruh <i>Wind attack</i> terhadap Jembatan <i>Cable Stayed</i>	16
2.8 Penggunaan <i>Computational Fluid Dynamics</i> (CFD).....	18
2.9 Kebaruan Penelitian	20
BAB 3 LANDASAN TEORI.....	22
3.1 Karakteristik Umum Jembatan <i>Cable-Stayed</i>	22
3.2 Hubungan antara Desain dan Konstruksi.....	22
3.3 Sistem dan Jenis Kabel	23
3.4 Pola Susunan Kabel	24
3.5 Struktur Pylon dan Gelagar.....	26

3.6 Dimensi Gelagar dan Berat Sendiri	27
3.7 Pembebanan Jembatan	27
3.7.1 Beban permanen	27
3.7.2 Beban lalu lintas	29
3.7.3 Beban Angin	31
3.7.4 Kombinasi pembebanan	34
3.8 Analisis Frekuensi Natural	35
3.8.1 Metode klasik	35
3.8.2 Metode Rayleigh	36
3.9 Teori <i>Computational Fluid Dynamics</i> (CFD)	39
3.9.1 Model <i>Shear-Stress Transport</i> (SST) $k-\omega$	40
3.10 Pengaruh Angin Dinamik dan Kriteria Stabilitas	41
3.11 Batasan Lendutan dan Kriteria Desain	44
BAB 4 METODE PENELITIAN	45
4.1 Lokasi Penelitian	45
4.2 Prosedur Penelitian	45
4.3 Alat dan Data Penelitian	48
4.3.1 Data <i>Preliminary Design</i> Jembatan	49
4.3.2 Data Pembebanan Jembatan	54
4.3.3 Data Angin	59
4.4 Parameter Penelitian	60
4.5 Metode Analisis	62
4.5.1 Simulasi Aliran di Cradle CFD	62
4.5.2 Pemodelan Jembatan <i>Cable Stayed</i> di Midas Civil 2024	65
4.5.3 Gaya Pratarik Kabel Jembatan	68
4.5.4 Input Beban dan Validasi Model	68
BAB 5 HASIL DAN PEMBAHASAN	70
5.1 Analisis Modal	70
5.2 Kecepatan Kritis <i>Vortex Shedding</i>	76
5.3 Kestabilan Angin Dinamis Jembatan	78
5.4 Hasil Simulasi <i>Cradle</i> CFD	80
5.4.1 Pengaruh variasi kecepatan terhadap pola aliran angin	80
5.4.2 Pengaruh variasi lebar dek dan tinggi girder pada pola aliran angin	85
5.4.3 Pengaruh <i>wind attack</i> terhadap pola aliran angin	87

5.4.4	Gaya dan Momen pada Dek Jembatan.....	90
5.4.5	Gaya lateral (<i>Drag</i>)	90
5.4.6	Gaya vertikal (<i>Lift</i>).....	95
5.4.7	Momen Torsi (Torsi Arah Z)	98
5.4.8	Pengaruh <i>Wind Attack Angle</i>	102
5.5	Respons Struktur.....	106
5.5.1	<i>Displacement</i> longitudinal (arah x).....	106
5.5.2	<i>Displacement</i> lateral (arah Y)	108
5.5.3	<i>Displacement</i> vertikal (arah Z).....	112
5.6	Gaya pada Kabel Jembatan	117
5.7	<i>Stress Ratio</i> Pada Kabel	121
5.8	<i>Displacement</i> akibat Kombinasi Pembebanan.....	126
BAB 6	KESIMPULAN DAN SARAN.....	129
6.1	Kesimpulan	129
6.2	Saran	131
DAFTAR	PUSTAKA	133
LAMPIRAN 1	Kapasitas Desain Girder Utama	142
LAMPIRAN 2	Pemodelan Jembatan di Midas Civil 2024.....	162
LAMPIRAN 3	Pemodelan di Cradle CFD.....	169
LAMPIRAN 4	Hasil Simulasi CFD – Force dan Momen	171

Tabel 2.1 Nilai frekuensi alami jembatan Merah Putih (Suangga dkk., 2019)	9
Tabel 2.2 Perbandingan frekuensi jembatan Merah Putih (Lautan dkk., 2019).....	9
Tabel 2.3 Perbedaan penelitian sebelumnya dengan penelitian sekarang.....	20
Tabel 3.1 Faktor beban untuk berat sendiri (Badan Standarisasi Nasional, 2016)	28
Tabel 3.2 Faktor beban untuk beban mati tambahan (Badan Standarisasi Nasional, 2016)	29
Tabel 3.3 Faktor beban lajur “TD” (Badan Standarisasi Nasional, 2016)	30
Tabel 3.4 Faktor beban truk “TT” (Badan Standarisasi Nasional, 2016)	31
Tabel 3.5 Faktor kepadatan lajur (m) (Badan Standarisasi Nasional, 2016).....	31
Tabel 3.6 Nilai V_0 dan Z_0 berbagai variasi kondisi permukaan hulu (BSN, 2016)	33
Tabel 3.7 Tekanan angin dasar (Badan Standarisasi Nasional, 2016)	33
Tabel 3.8 Tabel kombinasi pembebanan (Badan Standarisasi Nasional, 2016)	35
Tabel 3.9 Tingkat kerentanan jembatan terhadap angin dinamik.	42
Tabel 4.3 Material dan mutu komponen Jembatan Merah Putih	50
Tabel 4.2 Dimensi teknis variasi lebar bentang 9, 14, 21,5 dan 24 Meter	53
Tabel 4.3 Rekapitulasi diameter kabel untuk lebar bentang 9 m, 14 m, 21,5 m dan 24 m	54
Tabel 4.4 Rekapitulasi pembebanan lebar bentang 9, 14, 21,5 dan 24 meter	57
Tabel 4.5 Kombinasi pembebanan lebar bentang 9, 14, 21,5 dan 24 meter	58
Tabel 4.6 Rekapitulasi nilai kombinasi interaksi kekuatan kapasitas lentur dan axial	58
Tabel 4.7 Parameter <i>mesh</i> yang digunakan	64
Tabel 4.8 Sifat fluida yang diinput.....	64
Tabel 4.9 Kondisi batas (<i>boundary condition</i>) yang ditetapkan	64
Tabel 5.1 Perbandingan frekuensi alami jembatan Merah Putih	70
Tabel 5.2 Rekapitulasi nilai frekuensi alami lebar bentang 9, 14, 21,5 dan 24 meter	71
Tabel 5.3 Rekapitulasi rasio (B/L) dan (ft/fb) untuk seluruh lebar bentang jembatan.....	75
Tabel 5.4 Rekapitulasi Nilai Reynold untuk seluruh Lebar Bentang ($S = 0,10$).....	77
Tabel 5.5 Rekapitulasi Nilai Reynold untuk seluruh Lebar ($S = 0,20$).....	77
Tabel 5.6 Kestabilan Angin Dinamik Jembatan untuk seluruh bentang	78
Tabel 5.7 Energi turbulen dan <i>total pressure</i> pada kecepatan angin 25 m/s.....	87
Tabel 5.8 Energi turbulen dan <i>total pressure</i> kecepatan 8 m/s	88
Tabel 5.9 Displacement lateral (Dy) pada kecepatan 4 m/s	109
Tabel 5.10 Displacement lateral (Dy) pada kecepatan 8 m/s	110



Tabel 5.11 Displacement lateral (Dy) pada kecepatan 12 m/s	110
Tabel 5.12 Displacement lateral (Dy) pada kecepatan 25 m/s	111
Tabel 5.13 Displacement vertikal (Dz) pada kecepatan 4 m/s	113
Tabel 5.14 Displacement vertikal (Dz) pada kecepatan 8 m/s	114
Tabel 5.15 Displacement vertikal (Dz) pada kecepatan 12 m/s	115
Tabel 5.16 Displacement vertikal (Dz) pada kecepatan 25 m/s	116
Tabel 5.17 <i>Stress ratio</i> (σ/σ_{ijin}) pada kombinasi (tanpa beban angin)	122
Tabel 5.18 <i>Stress ratio</i> (σ/σ_{ijin}) pada kombinasi (beban angin $v = 12$ m/s)	123
Tabel 5.19 <i>Stress ratio</i> (σ/σ_{ijin}) pada kombinasi (beban angin $v = 12$ m/s)	124

Gambar 2.1 Nilai frekuensi alami jembatan (Hidayat dkk. 2021)	12
Gambar 2.2 Nilai frekuensi alami jembatan (Supriyadi dkk. 2017)	12
Gambar 2.3 Nilai frekuensi rasio lebar terhadap bentang jembatan (Ohorella 2018).....	13
Gambar 3.1 Tipe-tipe ruji kabel	23
Gambar 3.2 Harp pattern	25
Gambar 3.3 Fan pattern	25
Gambar 3.4 Semi harp pattern.....	25
Gambar 3.5 <i>Asymmetric pattern</i>	26
Gambar 3.6 Bentuk dasar menara jembatan <i>cable-stayed</i>	26
Gambar 3.7 Penempatan beban lajur “D” (Badan Standarisasi Nasional, 2016).....	30
Gambar 3.8 Sistem derajat kebebasan tunggal metode Rayleigh (Walther dkk. 1999).....	37
Gambar 3.9 Koefisien bentuk C_T , C_N , C_M ((Walther, R., 1999)	44
Gambar 4.1 Lokasi Jembatan merah putih di Kota Ambon (Google Maps, 2025).....	45
Gambar 4.2 Bagan alir penelitian.....	48
Gambar 4.3 Data teknis Jembatan Merah Putih (Kementerian PUPR, 2020).....	49
Gambar 4.4 Dimensi <i>cross beam</i> Jembatan Merah Putih (Departemen PU, 2012)	51
Gambar 4.5 Dimensi <i>Pylon</i> Jembatan Merah Putih (Departemen PU, 2012).....	52
Gambar 4.6 Konfigurasi kabel jembatan <i>cable stayed</i>	53
Gambar 4.7 Pendefinisian berat sendiri jembatan <i>cable stayed</i>	55
Gambar 4.8 Bentuk Cakra Angin hasil analisis Kecepatan Angin dengan WRPlot	59
Gambar 4.9 Distribusi Frekuensi Kecepatan Angin di Kota Ambon dengan WRPlot	59
Gambar 4.10 Hasil pengukuran anemometer di JMP Tahun 2018 (Aminullah, 2024)	60
Gambar 4.11 Hasil pengukuran <i>angle attack</i> di JMP Tahun 2018 (Aminullah, 2024).....	60
Gambar 4.12 Gambar solid 3D dek jembatan	63
Gambar 4.13 P Referensi ukuran pemodelan CFD	63
Gambar 4.14 Jembatan cable stayed dalam bentuk 3D.....	66
Gambar 4.15 Titik tumpuan pada pemodelan jembatan <i>cable stayed</i>	67
Gambar 4.16 Node titik-titik tumpuan jembatan cable stayed.....	67
Gambar 4.17 <i>Elastic link</i> pada pemodelan jembatan <i>cable stayed</i>	67
Gambar 4.18 <i>Elastic link</i> pada pemodelan jembatan <i>cable stayed</i>	68
Gambar 5.1 lebar 9 m <i>Mode shape</i> 1 fb = 0,731 Hz	71



Gambar 5.2 lebar 9 m <i>Mode shape</i> 4 ft = 1,020 Hz	71
Gambar 5.3 lebar 14 m <i>Mode shape</i> 1 fb = 0,720 Hz	72
Gambar 5.4 lebar 14 m <i>Mode shape</i> 4 ft = 0,935 Hz	72
Gambar 5.5 lebar 21,5 m <i>Mode shape</i> 1 fb = 0,688 Hz	72
Gambar 5.6 lebar 21,5 m <i>Mode shape</i> 4 ft = 0,919 Hz	73
Gambar 5.7 lebar 24 m <i>Mode shape</i> 1 fb = 0,664 Hz	73
Gambar 5.8 lebar 24 m <i>Mode shape</i> 3 ft = 0,893 Hz	73
Gambar 5.9 Perbandingan nilai Frekuensi jembatan lebar 9 m, 14 m, 21.5 m dan 24 m.	74
Gambar 5.10 Rasio frekuensi torsi terhadap lentur vertikal pertama (ft/fb).	75
Gambar 5.11 Angka kestabilan aerodinamik seluruh lebar jembatan.....	80
Gambar 5.12 Energi turbulen aliran angin kecepatan 4 m/s pada lebar 21,5 meter.....	81
Gambar 5.13 <i>Total pressure</i> aliran angin kecepatan 4 m/s pada lebar 21,5 meter	82
Gambar 5.14 Energi turbulen aliran angin kecepatan 8 m/s pada lebar 21,5 meter.....	82
Gambar 5.15 <i>Total pressure</i> aliran angin kecepatan 8 m/s pada lebar 21,5 meter	83
Gambar 5.16 Energi turbulen aliran angin kecepatan 12 m/s pada lebar 21,5 meter.....	83
Gambar 5.17 <i>Total pressure</i> aliran angin kecepatan 12 m/s pada lebar 21,5 meter	83
Gambar 5.18 Energi Turbulen angin kecepatan 18,22 m/s pada lebar 21,5 meter	84
Gambar 5.19 Energi Turbulen angin kecepatan 25 m/s pada lebar 21,5 meter	84
Gambar 5.20 <i>Total pressure</i> angin kecepatan 25 m/s pada lebar 21,5 meter	85
Gambar 5.21 Pola aliran angin kecepatan 25 m/s pada lebar 9 meter	86
Gambar 5.22 Pola aliran angin kecepatan 25 m/s pada lebar 14 meter	86
Gambar 5.23 Pola aliran angin kecepatan 25 m/s pada lebar 24 meter	87
Gambar 5.24 Pola aliran angin kecepatan 8 m/s wind attack 0° pada lebar 21,5 meter.....	88
Gambar 5.25 Pola aliran angin kecepatan 8 m/s wind attack -6° pada lebar 21,5 meter	88
Gambar 5.26 Pola aliran angin kecepatan 8 m/s wind attack -9° pada lebar 21,5 meter	89
Gambar 5.27 Pola aliran angin kecepatan 8 m/s wind attack -12° pada lebar 21,5 meter	89
Gambar 5.28 Force arah lateral (Y) wind attack 0° pada lebar 9 meter	91
Gambar 5.29 Force arah lateral (Y) wind attack 0° pada lebar 14 meter	91
Gambar 5.30 Force arah lateral (Y) wind attack 0° pada lebar 21,5 meter	92
Gambar 5.31 Force arah lateral (Y) wind attack 0° pada lebar 24 meter	93
Gambar 5.32 <i>Force</i> arah lateral (Y) V= 4 m/s <i>wind attack</i> 0° seluruh variasi lebar.....	93
Gambar 5.33 <i>Force</i> arah lateral (Y) V= 8 m/s <i>wind attack</i> 0° seluruh variasi lebar.....	94
Gambar 5.34 <i>Force</i> arah lateral (Y) V= 12 m/s <i>wind attack</i> 0° seluruh variasi lebar.....	94



Gambar 5.35 Force arah lateral (Y) $V=25$ m/s <i>wind attack</i> 0° seluruh variasi lebar.....	94
Gambar 5.36 Force arah vertikal (Z) <i>wind attack</i> 0° pada lebar 9 meter	95
Gambar 5.37 Force arah vertikal (Z) <i>wind attack</i> 0° pada lebar 14 meter	96
Gambar 5.38 Force arah vertikal (Z) <i>wind attack</i> 0° pada lebar 21,5 meter	96
Gambar 5.39 Force arah vertikal (Z) <i>wind attack</i> 0° pada lebar 21,5 meter.....	97
Gambar 5.40 Force arah vertikal (Z) $V=4$ m/s <i>wind attack</i> 0° seluruh variasi lebar	98
Gambar 5.41 Force arah vertikal (Z) $V=25$ m/s <i>wind attack</i> 0° seluruh variasi lebar	98
Gambar 5.42 Momen arah (Z) <i>wind attack</i> 0° pada lebar 9 meter	99
Gambar 5.43 Momen arah (Z) <i>wind attack</i> 0° pada lebar 14 meter	99
Gambar 5.44 Momen arah (Z) <i>wind attack</i> 0° pada lebar 21,5 meter	100
Gambar 5.45 Momen arah (Z) <i>wind attack</i> 0° pada lebar 24 meter	101
Gambar 5.46 Momen (Z) $V=4$ m/s <i>wind attack</i> 0° seluruh variasi lebar	101
Gambar 5.47 Momen (Z) $V=25$ m/s <i>wind attack</i> 0° seluruh variasi lebar	102
Gambar 5.48 Momen arah vertikal (Z) $V=4$ m/s lebar 21,5 variasi <i>wind attack</i> $^\circ$	102
Gambar 5.49 Momen arah vertikal (Z) $V=25$ m/s lebar 21,5 m variasi <i>wind attack</i> $^\circ$	103
Gambar 5.50 Force arah lateral (Y) $V=4$ m/s lebar 21,5 variasi <i>wind attack</i> $^\circ$	103
Gambar 5.51 Force arah lateral (Y) $V=25$ m/s lebar 21,5 variasi <i>wind attack</i> $^\circ$	103
Gambar 5.52 Force arah vertikal (Z) $V=4$ m/s lebar 21,5 variasi <i>wind attack</i> $^\circ$	104
Gambar 5.53 Force arah vertikal (Z) $V=8$ m/s lebar 21,5 variasi <i>wind attack</i> $^\circ$	104
Gambar 5.54 Force arah vertikal (Z) $V=12$ m/s lebar 21,5 variasi <i>wind attack</i> $^\circ$	104
Gambar 5.55 Force arah vertikal (Z) $V=25$ m/s lebar 21,5 variasi <i>wind attack</i> $^\circ$	105
Gambar 5.56 Momen arah lateral (Y) $V=25$ m/s lebar 21,5 m variasi <i>wind attack</i> $^\circ$	105
Gambar 5.57 Momen arah longitudinal (X) $V=25$ m/s lebar 21,5 variasi <i>wind attack</i> $^\circ$	106
Gambar 5.58 Displacement arah longitudinal (X) $V=4$ m/s <i>wind attack</i> 0°	107
Gambar 5.59 Displacement arah longitudinal (X) $V=25$ m/s <i>wind attack</i> 0°	107
Gambar 5.60 Displacement arah longitudinal (X) $V=4$ m/s lebar 21,5 m	108
Gambar 5.61 Displacement arah longitudinal (X) $V=25$ m/s lebar 21,5 m	108
Gambar 5.62 Displacement arah lateral (Y) $V=4$ m/s <i>wind attack</i> 0°	109
Gambar 5.63 Displacement arah lateral (Y) $V=8$ m/s <i>wind attack</i> 0°	109
Gambar 5.64 Displacement arah lateral (Y) $V=12$ m/s <i>wind attack</i> 0°	110
Gambar 5.65 Displacement arah lateral (Y) $V=25$ m/s <i>wind attack</i> 0°	111
Gambar 5.66 sinyal domain frekuensi displacement y $V=25$ m/s <i>wind attack</i> 0°	111



Gambar 5.67	<i>Displacement</i> lateral (Y) V= 25 m/s lebar 9 m variasi <i>wind attack</i>	112
Gambar 5.68	<i>Displacement</i> lateral (Y) V=25 m/s lebar 21,5 m variasi <i>wind attack</i>	112
Gambar 5.69	<i>Displacement</i> arah vertikal (z) (V= 4 m/s <i>wind attack</i> 0°)	113
Gambar 5.70	<i>Displacement</i> arah vertikal (z) (V= 8 m/s <i>wind attack</i> 0°)	114
Gambar 5.71	<i>Displacement</i> arah vertikal (z) (V= 12 m/s <i>wind attack</i> 0°)	115
Gambar 5.72	<i>Displacement</i> arah vertikal (z) (V= 25 m/s <i>wind attack</i> 0°)	116
Gambar 5.73	<i>Displacement</i> vertikal (z) V = 25 m/s lebar 9 m variasi <i>wind attack</i>	117
Gambar 5.74	<i>Displacement</i> vertikal (z) V = 25 m/s lebar 21,5 m variasi <i>wind attack</i>	117
Gambar 5.75	Gaya kabel pada kombinasi kuat I (V = 4 m/s <i>wind attack</i> 0°)	118
Gambar 5.76	Gaya kabel pada kombinasi kuat III (V = 25 m/s <i>wind attack</i> 0°)	119
Gambar 5.77	Gaya kabel pada kombinasi layan V (V = 25 m/s <i>wind attack</i> 0°)	120
Gambar 5.78	Gaya kabel pada kombinasi layan II (V = 25 m/s <i>wind attack</i> 0°)	120
Gambar 5.79	Gaya kabel pada kombinasi layan IV (V = 25 m/s <i>wind attack</i> 0°)	121
Gambar 5.80	<i>Stress ratio</i> (σ/σ ijin) pada kombinasi kuat I (tanpa beban angin)	123
Gambar 5.81	<i>Stress ratio</i> pada kombinasi kuat III (beban angina V=12 m/s)	124
Gambar 5.82	<i>Stress ratio</i> pada kombinasi kuat V (beban angin V=12 m/s)	125
Gambar 5.83	<i>Displacement</i> longitudinal (x) kecepatan 25 m/s dengan kombinasi beban	126
Gambar 5.84	<i>Displacement</i> lateral (y) kecepatan 12 m/s dengan kombinasi beban	127
Gambar 5.85	<i>Displacement</i> lateral (y) kecepatan 25 m/s dengan kombinasi beban	127
Gambar 5.86	<i>Displacement</i> vertikal (z) kecepatan 25 m/s dengan kombinasi beban	128