



SKRIPSI - ME184841

**ANALISA PENGARUH VARIASI SUDUT SKEW PROPELLER B-SERIES
TERHADAP PERFORMA DAN KAVITASI MENGGUNAKAN METODE
*COMPUTATIONAL FLUID DINAMIC***

**MISKLI ISKA NANDA
NRP. 04211646000006**

**Dosen Pembimbing:
EDI JADMIKO, S.T., M.T.
IRFAN SYARIF ARIEF, S.T., M.T.**

**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019**



SKRIPSI - ME184841

ANALISA PENGARUH VARIASI SUDUT SKEW PROPELLER B-SERIES TERHADAP
PERFORMA DAN KAVITASI MENGGUNAKAN METODE *COMPUTATIONAL FLUID DINAMIC*

MISKLI ISKA NANDA
NRP. 04211646000006

Dosen Pembimbing:
EDI JADMIKO, S.T.,M.T.
IRFAN SYARIF ARIEF, S.T.,M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



FINAL PROJECT - ME184841

**ANALYSIS OF THE EFFECT VARIATION SKEW ANGLE B-SERIES PROPELLER ON
PERFORMANCE AND CAVITATION USING COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC METHODS**

**MISKLI ISKA NANDA
NRP. 04211646000006**

**Supervisor:
EDI JADMIKO, S.T.,M.T.
IRFAN SYARIF ARIEF, S.T.,M.T.**

**DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING
FAKULTY OF MARINE TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2019**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

**ANALISA PENGARUH VARIASI SUDUT SKEW PROPELLER B-SERIES
TERHADAP PERFORMA DAN KAVITASI MENGGUNAKAN METODE
COMPUTATIONAL FLUID DINAMIC**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Bidang Studi *Marine Manufacturing and Design* (MMD)
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Miskli Iska Nanda

NRP. 0421 16 46 000 006

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

Edi Jadmiko, S.T., M.T.
NIP 1978 0706 2008 01 1012



Irfan Syarif Arief, S.T., M.T.
NIP 1969 1225 1997 02 1001



Surabaya, Januari 2019

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

**ANALISA PENGARUH VARIASI SUDUT *SKEW* PROPELLER B-SERIES
TERHADAP PERFORMA DAN KAVITASI MENGGUNAKAN METODE
*COMPUTATIONAL FLUID DINAMIC***

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Bidang Studi *Marine Manufacturing and Design* (MMD)
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Miskli Iska Nanda

NRP. 0421 16 46 000 006

Disetujui oleh Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan:




Dr. Eng. M. Badrus Zaman., ST., MT
NIP. 1977 0802 2008 01 1007

Surabaya, Januari 2019

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

ANALISA PENGARUH VARIASI SUDUT SKEW PROPELLER B-SERIES TERHADAP PERFORMA DAN KAVITASI MENGGUNAKAN METODE *COMPUTATIONAL FLUID DINAMIC*

Nama Mahasiswa : Miskli Iska Nanda
NRP : 0421164600006
Departemen : Teknik Sistem Perkapalan ITS
Dosen Pembimbing 1 : Edi Jadmiko, S.T., M.T.
Dosen Pembimbing 2 : Irfan Syarif Arief, S.T., M.T.

ABSTRAK

Pencapaian efisiensi setinggi mungkin dari propeller sangat dibutuhkan untuk meminimalisir bahan bakar. Namun hal tersebut dibatasi oleh terjadinya kavitasi, getaran, kebisingan dan kekuatan material yang dimiliki propeller. Dengan demikian perlu dilakukan suatu terobosan baru dalam mendesain atau memodifikasi bentuk propeller untuk mencapai performa yang maksimal. Salah satu modifikasi yang dapat dilakukan adalah dengan merubah sudut skew. Propeller B-Series merupakan salah satu propeller yang sering digunakan dan memiliki data geometri yang cukup lengkap. Kavitasi merupakan hal yang harus diperhatikan karena akan memanifestasikannya menjadi kebisingan, getaran, dan erosi pada *blade* propeller. Dari modifikasi sudut skew tersebut akan dianalisa dengan metode CFD (*Computational Fluid Dynamics*) bagaimana hubungan antara performa dan hasil kavitasi dari berbagai variasi yang telah dilakukan. Sehingga nantinya dapat diketahui bentuk sudut skew yang menghasilkan performa yang maksimal dan kavitasi rendah.

Dari hasil simulasi dapat disimpulkan bahwa semakin besar sudut skew maka nilai dari *thrust* dan torsi semakin menurun, namun hal ini berbanding terbalik terhadap nilai efisiensi yang mengalami *trendline* naik dengan semakin besarnya sudut skew. Sudut skew yang mempunyai nilai *thrust*, torsi, dan efisiensi yang paling besar adalah pada sudut skew 0°. Performa yang dihasilkan adalah *thrust* sebesar 1930,979 kN (meningkat 7,1%), torsi sebesar 2726,358 kNm (meningkat 4,13%), dan efisiensi sebesar 0,71 (meningkat 2,8%) dibanding dengan sudut skew original. Sudut skew yang mempunyai nilai *thrust* dan torsi yang paling kecil adalah pada sudut skew 60°. Performa yang dihasilkan adalah *thrust* sebesar 1501,4 kN (menurun 16,6%), torsi sebesar 2153,6 kNm (menurun 17,7%), dan efisiensi sebesar 0,669 (meningkat 1,28%) dibanding dengan sudut skew original. Meningkatkan besar sudut skew dapat memperkecil potensi kavitasi pada sudut skew tertentu. Sudut skew yang memiliki nilai *thrust*, torsi, dan efisiensi yang cukup tinggi dan memiliki potensi kavitasi yang cukup rendah adalah pada sudut skew 0°.

Kata Kunci: Sudut Skew, Propeller B-series, Kavitasi, CFD

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

**ANALYSIS OF THE EFFECT VARIATION SKEW ANGLE B-SERIES
PROPELLER ON PERFORMANCE AND CAVITATION USING
COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC METHODS**

Name of Student : Miskli Iska Nanda
NRP : 04211646000006
Department : Marine Engineering
Supervisor 1 : Edi Jadmiko, S.T., M.T.
Supervisor 2 : Irfan Syarief Arief, S.T., M.T.

ABSTRACT

Achieving the highest possible efficiency from a propeller is needed to minimize fuel. However, this is limited by the occurrence of cavitation, vibration, noise and material strength possessed by propellers. Thus it is necessary to do a new breakthrough in designing or modifying the shape of the propeller to achieve maximum performance. One modification that can be done is to change the skew angle. Propeller B-Series is a propeller that is often used and has a fairly complete geometry data. Cavitation is something that must be considered because it will manifest into noise, vibration and erosion in the propeller blade. The modification of the skew angle will be analyzed using the CFD (Computational Fluid Dynamics) method of how the relationship between performance and cavitation results from the various variations that have been made. So that later it can be known that skew angles produce maximum performance and low cavitation.

From the simulation results it can be concluded that the greater the skew angle, the value of the thrust and torque are decrease, but this is inversely proportional to the value of efficiency that has an upward trendline with the greater angle of skew. Skew angle that has the greatest thrust value, torque, and efficiency is at the skew angle 0°. The resulting performance is thrust of 1930.979 kN (increase 7.1%), torque of 2726,358 kNm (increase 4.13%), and efficiency of 0.71 (increase 2.8%) compared to the original skew angle . Skew angle that has the smallest thrust and torque value is at the skew angle 60°. The resulting performance is thrust of 1501.4 kN (decrease 16.6%), torque of 2153.6 kNm (decrease 17.7%), and efficiency of 0.669 (increase 1.28%) compared to the angle of the original skew. Increasing the skew angle can reduce the potential of cavitation at certain skew angles. The skew angle which has a thrust value, torque, and efficiency that is quite high and has a fairly low cavitation potential is at the skew angle 0°.

Keywords: Skew Angle, B-series Propeller, Cavitation, CFD

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum wr, wb.

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT karena dengan rahmat, taufik, serta hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan tepat waktu yang berjudul :

“ANALISA PENGARUH VARIASI SUDUT *SKEW* PROPELLER B-SERIES TERHADAP PERFORMA DAN KAVITASI MENGGUNAKAN METODE *COMPUTATIONAL FLUID DINAMIC*”

Tugas Akhir ini diajukan sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Bidang Studi *Marine Manufacture and Design (MMD)* Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Pada kesempatan kali ini, penulis menyampaikan terimakasih kepada semua pihak yang telah berperan dalam penyusunan Tugas Akhir ini, yaitu:

1. Kedua orang tua penulis dan adik atas doa, perhatian, dukungan moral, dan materi yang diberikan kepada penulis tanpa henti sehingga dapat terselesaikannya Tugas Akhir ini.
2. Bapak Edi Jadmiko, S.T.,M.T., selaku dosen pembimbing pertama sekaligus dosen wali atas semua pelajaran baik berupa kritik, saran, moral, solusi, dan inspirasi yang telah diberikan kepada penulis sehingga penulis dapat menggali hal-hal baru untuk dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik.
3. Bapak Irfan Syarif Arief, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing kedua yang sering memberian masukan, solusi, waktu dan tempat pengerjaan kepada penulis ketika penulis mengalami kesulitan dalam mengerjakan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Dr. Eng. M. Badrus Zaman, ST., MT. selaku Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS.
5. Bapak dan Ibu dosen Jurusan Teknik Sistem Perkapalan yang telah memberikan ilmu yang sangat bermanfaat.
6. Teman seperjuangan Tugas Akhir terutama teman-teman Lab MMD 2018 serta seluruh teman-teman seperjuangan Lintas Jalur 2016 Genap, Siskal Reguler dan *Double Degree* seluruh angkatan.
7. Sahabat penulis di luar Kota Surabaya yang selalu memberikan motivasi kepada penulis untuk segera menyelesaikan tugas akhir ini.
8. Dan seluruh pihak yang telah membantu dalam proses penulisan Tugas Akhir ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan tugas akhir ini masih banyak kekurangan karena keterbatasan pengetahuan dan pengalaman, oleh karena itu kritik dan saran yang membangun sangatlah penulis harapkan untuk lebih baik dan sempurnanya Tugas Akhir ini. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat dan dapat digunakan sebagai tambahan informasi serta wacana-wacana bagi semua pihak yang membutuhkan sehingga dapat memberikan kontribusi yang berarti bagi semua pihak yang berkepentingan dalam topik Tugas Akhir ini.

Wassalamualaikum wr, wb

Surabaya, Januari 2019

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK.....	ix
KATA PENGANTAR.....	xiii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xix
DAFTAR TABEL.....	xxi
DAFTAR GRAFIK.....	xxiii
BAB I - PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Manfaat Penelitian.....	2
1.5 Batasan Masalah.....	2
BAB II - TINJAUAN PUSTAKA.....	3
2.1 Geometri Propeller.....	3
2.1.1 Rangka Acuan.....	4
2.1.2 Garis referensi Propeller.....	5
2.1.3 Pitch.....	6
2.1.4 Rake and Skew.....	7
2.2 Geometri Propeller B-Series.....	13
2.2.1 <i>Blade Countour</i>	14
2.2.2 Distribusi Pitch Radial.....	14
2.2.3 <i>Blade Section</i>	15
2.2.4 <i>Blade Thickness</i>	18
2.2.5 <i>Effect of Definition of Pitch Line</i>	18
2.2.6 Distribusi Maksimum Chamber B-Series.....	19
2.2.7 Rake.....	20
2.2.8 Hub Diameter.....	20

2.3	<i>Open Water Result</i>	20
2.4	Polynomial Wagneningen B-Series	20
2.5	Kavitasi.....	22
2.5.1	Dasar prinsip dan penyebab terjadi kavitasi	22
2.5.2	Macam Kavitasi	23
	A. Berdasarkan letak	23
	B. Menurut letak penampang, misalnya penampang di tengah (midchord)	24
	C. Berdasarkan struktur.....	24
2.5.3	Kerugian Kavitasi	25
2.5.4	Aliran Kavitasi.....	26
2.5.5	Kavitasi model.....	28
2.6	<i>Computational Fluid Dinamic</i>	29
2.6.1	Pre Processor	30
2.6.2	Processor	30
2.6.3	Post Processor.....	30
BAB III - METODOLOGI PENELITIAN		33
3.1	Alur Penelitian.....	33
3.2	Jadwal Pelaksanaan	39
BAB IV – ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN		41
4.1	Preliminary Desain	41
4.1.1	Perhitungan Tahanan Kapal.....	41
4.1.2	Pembuatan Kurva K_T Desain, K_T , K_Q , dan Efisiensi Propeller Menggunakan Metode Polinomial.....	42
	A. Perhitungan advance coefficient (J).....	43
	B. Perhitungan K_t Desain.....	43
	C. Perhitungan ΔK_T ; ΔK_Q	45
	D. Effisiensi propeller	48
	E. Hasil Perhitungan K_T ; K_Q , dan Efisiensi	48
4.1.3	Pembacaan Grafik K_T ; J dan Efisiensi	56
4.1.4	Pemeriksaan Kavitasi Propeller	57

4.1.5	Hasil Rekapitulasi dan Pemilihan Tipe Propeller B-Series	58
4.2	Perhitungan Ukuran Utama Foil Propeller.....	61
4.2.1	Data Utama Propeller	61
4.2.2	Perhitungan Panjang dan Tebal Maksimum Masing-Masing Foil Daun Propeller 61	
4.2.3	Perhitungan Koordinat Foil Daun Propeller.....	62
4.3	Validasi Model dan Data Hasil Simulasi	66
4.3.1	Hasil Simulasi Thrust dan Torsi	66
A.	Variasi Skew 0°	66
B.	Skew 14° (Original).....	67
C.	Variasi Skew 30°	67
D.	Variasi Skew 45°	68
A.	Variasi Skew 60°	69
4.3.2	Olah Data Hasil Simulasi <i>Thrust</i> dan Torsi	69
4.3.3	Analisa <i>Thrust</i> Terhadap Sudut Skew Propeller B6-80	70
4.3.4	Analisa Torsi Terhadap Sudut Skew Propeller B6-80	71
4.3.5	Analisa Efisiensi Terhadap Sudut Skew Propeller B6-80.....	71
4.3.6	Analisa Hasil Kavitasasi Terhadap Sudut Skew Propeller B6-80	72
A.	Variasi Skew 0°	73
B.	Variasi Skew 14°	74
C.	Variasi Skew 30°	75
D.	Variasi Skew 45°	76
A.	Variasi Skew 60°	77
BAB V – KESIMPULAN DAN SARAN		79
5.1	Kesimpulan.....	79
5.2	Saran.....	79
DAFTAR PUSTAKA		81
LAMPIRAN-LAMPIRAN		83

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Rangka Acuan.....	4
Gambar 2. 2 <i>Blade Reference Line</i>	6
Gambar 2. 3 Definisi <i>Cylinder Blade Section</i>	6
Gambar 2. 4 Definisi Pitch	7
Gambar 2. 5 Skew	9
Gambar 2. 6 Total Rake	9
Gambar 2. 7 Koordinat Blade.....	10
Gambar 2. 8 Tip Rake	10
Gambar 2. 9 <i>Propeller Section Unwrapped</i>	11
Gambar 2. 10 Expanded View.....	12
Gambar 2. 11 <i>Wrapped Section Skew</i>	13
Gambar 2. 12 Contour B-Series Propeller	14
Gambar 2. 13 <i>Blade Section</i>	15
Gambar 2. 14 Nilai V1	16
Gambar 2. 15 Nilai V2	17
Gambar 2. 16 Geomateri <i>Blade Section</i> Wageningen B-Series	17
Gambar 2. 17 Dimensi untuk daun 4, 5, 6, dan 7 Wageningen B-Series	18
Gambar 2. 18 Angka Eksponensial Poynomial Wageningen B-Series	21
Gambar 2. 19 Tekanan Terhadap Suhu	23
Gambar 2. 20 Kavitasi Pada Propeller.....	24
Gambar 2. 21 Akibat Kavitasi	25
Gambar 2. 22 Tekanan dan aliran udara pada foil	26
Gambar 2. 23 Perbedaan Tekanan	27
Gambar 2. 24 Penentuan Boundary Condition Meshing	30
Gambar 2. 25 Hasil helicity pada Numeca CFD.....	31
Gambar 3. 1 Rencana Alur Penelitian	33
Gambar 3. 2 Flowchart Preliminary Desain	35
Gambar 3. 3 Penggambaran Surface Propeller Pada Software Rhino.....	36
Gambar 3. 4 Pengecekan Bentuk Solid Hexpress Numeca.....	37
Gambar 3. 5 Tahap Meshing	37
Gambar 4. 1 Hasil Resistance Kapal	42
Gambar 4. 2 Grafik Blade 6 Ae/Ao 0.50	56
Gambar 4. 3 Diagram Burril.....	58
Gambar 4. 4 <i>Thrust</i> B6-80 Skew 0°.....	66
Gambar 4. 5 <i>Torque</i> B6-80 Skew 0°.....	66
Gambar 4. 6 <i>Thrust</i> B6-80 Skew 14°.....	67
Gambar 4. 7 <i>Torque</i> B6-80 Skew 14°.....	67
Gambar 4. 8 <i>Thrust</i> B6-80 Skew 28°.....	67

Gambar 4. 9 <i>Torque</i> B6-80 Skew 28°	68
Gambar 4. 10 <i>Thrust</i> B6-80 Skew 42°	68
Gambar 4. 11 <i>Torque</i> B6-80 Skew 42°	68
Gambar 4. 12 <i>Thrust</i> B6-80 Skew 56°	69
Gambar 4. 13 <i>Torque</i> B6-80 Skew 56	69
Gambar 4. 14 <i>Cavitation Fraction</i> Bagian Face Skew 0°	73
Gambar 4. 15 <i>Cavitation Fraction</i> Bagian Back Skew 0°	73
Gambar 4. 16 <i>Cavitation Fraction</i> Bagian Face Skew 14°	74
Gambar 4. 17 <i>Cavitation Fraction</i> Bagian Back Skew 14°	74
Gambar 4. 18 <i>Cavitation Fraction</i> Bagian Face Skew 28°	75
Gambar 4. 19 <i>Cavitation Fraction</i> Bagian Back Skew 28°	75
Gambar 4. 20 <i>Cavitation Fraction</i> Bagian Face Skew 42°	76
Gambar 4. 21 <i>Cavitation Fraction</i> Bagian Back Skew 42°	76
Gambar 4. 22 <i>Cavitation Fraction</i> Bagian Face Skew 56°	77
Gambar 4. 23 <i>Cavitation Fraction</i> Bagian Back Skew 28	77

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Kt Desain Moeri Container Ship (KCS)	44
Tabel 4. 2 Tabel Eksponensial Kt Polynomial.....	45
Tabel 4. 3 Tabel Eksponensial Kq Polynomial.....	46
Tabel 4. 4 Contoh Hasil Perhitungan KT ; KQ, dan Efisiensi blade 6 - Ae/Ao 0.50	48
Tabel 4. 5 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Tahap Preliminary Desain	59
Tabel 4. 6 Hasil Perhitungan Panjang dan Tebal Maksimum Pada Foil	61
Tabel 4. 7 Hasil Perhitungan Yface dan Yback tiap r/R	62
Tabel 4. 9 Hasil Perhitungan Kt, Kq, dan Efisiensi	69

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4. 1 <i>Thrust</i> Terhadap Sudut Skew Propeller	70
Grafik 4. 2 Torsi Terhadap Sudut Skew Propeller	71
Grafik 4. 3 Efisiensi Terhadap Sudut Skew Propeller	71

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I - PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring berjalannya waktu teknologi perkapalan mengalami kemajuan yang sangat pesat. Kemajuan tersebut ditandai dengan ditemukannya teori-teori dan peralatan yang menunjang untuk operasional kapal. Selain itu perkembangan yang dapat dilakukan adalah dengan memodifikasinya, salah satu contoh yang dapat dimodifikasi yaitu propeller dalam sistem propulsi kapal. Hal tersebut tentunya menarik minat para ilmuwan, pakar serta mahasiswa akan pentingnya inovasi dalam suatu bidang tertentu yang diharapkan lebih baik. Ditemukannya teori dan inovasi berawal dari sebuah pengamatan terhadap suatu objek tertentu yang dianggap memiliki nilai-nilai karakteristik yang diperlukan untuk melengkapi kekurangan pada inovasi sebelumnya.

Sistem propulsi merupakan suatu sistem yang berfungsi untuk menggerakkan kapal. Perancangan propulsi ini harus mampu untuk mengatasi seluruh hambatan yang terjadi pada kapal sesuai dengan kecepatan yang sudah ditentukan sebelumnya. Sebuah kerugian yang didapatkan ketika sistem propulsi tidak berjalan dengan baik dapat mengakibatkan konsumsi bahan bakar yang tidak efisien. Untuk itu perlu dilakukan studi perkembangan lebih lanjut mengenai sistem propulsi untuk meminimalisir kerugian tersebut. Sistem propulsi pada kapal terdiri dari tiga komponen yaitu mesin utama, sistem transmisi, dan propulsor. Sumber daya didapat dari mesin utama akan menggerakkan shaft dan propeller yang akan menggerakkan kapal. Daya yang diterima oleh propeller akan berkurang dari daya sumber karena melalui proses transmisi. Daya yang diterima tersebut akan menggerakkan propeller yang akhirnya dapat menggerakkan kapal dengan kecepatan tertentu.

Berkurangnya energi dari daya utama dapat terjadi karena proses transmisi yang wajib dilakukan dan loses-loses yang terjadi pada propeller. Banyak penelitian yang telah mengakui bahwa modifikasi bentuk geometri yang dilakukan terhadap propeller dapat meningkatkan atau menurunkan performa dari propeller tersebut. Dengan demikian perlu dilakukan suatu terobosan baru dalam mendesain atau memodifikasi bentuk propeller. Salah satu modifikasi yang dapat dilakukan adalah dengan merubah sudut skew. Sudut skew ini merupakan sudut yang terbentuk antara propeller *shaft center line* sampai dengan *blade tip*. Skew juga dapat berfungsi sebagai pengurang tekanan pada propeller saat memecah suatu fluida.

Pencapaian efisiensi setinggi mungkin dari propeller sangat dibutuhkan untuk meminimalisir bahan bakar. Namun hal tersebut dibatasi oleh terjadinya kavitasi, vibrasi, kebisingan dan kekuatan material yang dimiliki propeller untuk tetap berputar terus secara mekanik. Oleh karena itu beberapa hal tersebut yang

nantinya akan diminimalisir sedini mungkin dalam mendesain dan memodifikasi propeller.

Propeller B-Series merupakan salah satu propeller yang sering digunakan dan memiliki data geometri yang cukup lengkap. Namun untuk memodifikasi propeller ini hendaknya perlu diperhatikan batasan-batasan yang telah ditetapkan agar data yang digunakan seperti grafik dan diagram dapat sesuai. Pada penelitian sebelumnya telah menganalisa pengaruh variasi sudut skew terhadap performa, namun untuk efek yang terjadi karena perubahan tersebut seperti kavitasi, vibrasi, dan kebisingan belum teranalisa pada propeller B-Series. Performa pada propeller dapat berupa gaya dorong, torsi, dan efisiensi.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, maka dapat dijabarkan rumusan masalah penelitian adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana hubungan antara performa dan kavitasi yang dihasilkan karena pengaruh variasi sudut skew pada propeller B-Series?
2. Bagaimana bentuk sudut skew yang menghasilkan performa yang maksimal serta kavitasi yang rendah pada propeller B-Series?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan uraian permasalahan di atas, maka dapat dijabarkan tujuan penelitian kali ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui hubungan antara performa dan kavitasi yang dihasilkan karena pengaruh variasi sudut skew pada propeller B-Series
2. Untuk mengetahui bentuk sudut skew yang menghasilkan performa yang maksimal serta kavitasi yang rendah pada propeller B-Series

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian kali ini adalah:

1. Mampu mengetahui keuntungan atau kerugian dari variasi skew propeller B-series
2. Agar dapat mengetahui sudut skew yang paling baik untuk meminimalisir kavitasi dengan performa yang maksimal
3. Dapat menjadi tolak ukur dalam pemilihan propeller
4. Sebagai referensi untuk penelitian selanjutnya yang berhubungan dengan penelitian ini

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Tidak memperhatikan analisa kekuatan material dari propeller
2. Tidak memperhatikan analisa vibrasi dan kebisingan yang dihasilkan karena pengaruh variasi skew

BAB II - TINJAUAN PUSTAKA

Prosedur untuk merancang baling-baling dalam penggunaan saat ini di Pusat Penelitian dan Pengembangan Kapal Angkatan Laut (Pusat), termasuk ringkasan teknik analitis, prosedur komputasi, dan penilaian desain kritis telah dipublikasikan baru-baru ini. Makalah lain yang diterbitkan baru-baru ini menyajikan data teoritis dan eksperimental yang luas yang menunjukkan potensi keuntungan substansial dari baling-baling yang sangat miring, dibandingkan dengan baling-baling dengan moderat atau tanpa skew. Keuntungan ini termasuk pengurangan substansial dalam gaya dan bantalan baling-baling yang tidak seimbang akibat operasi di bidang aliran yang tidak seragam, pengurangan tekanan getaran yang diinduksi oleh baling-baling, dan meningkatkan toleransi terhadap timbulnya kavitasi yang disebabkan oleh fluktuasi sudut serangan karena operasi di bangun. (Robert, Design and Evaluation of A Highly Skewed Propeller For A Cargo Ship, 1974)

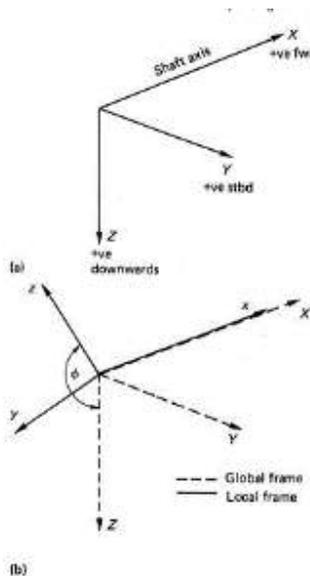
Manfaat ini dapat dicapai tanpa efek buruk pada efisiensi di depan, tanpa efek buruk pada kerusakan dorong karena kavitasi, dan dengan hanya sedikit penurunan dalam efisiensi dukungan. Meskipun karakteristik kekuatan baling-baling miring miring secara substansial lebih rumit daripada baling-baling konvensional, tampaknya tidak ada masalah dalam memastikan integritas kekuatan baling-baling yang sangat miring. Model hasil eksperimen disajikan untuk memperkuat teknik desain dan keputusan desain, mempertimbangkan propulsi, kavitasi, erosi kavitasi, dan kekuatan.

2.1 Geometri Propeller

(Charlton, 2007) Untuk menghargai aksi hidrodinamika baling-baling sepenuhnya dari sudut pandang empiris atau teoritis, penting untuk memiliki pemahaman menyeluruh tentang geometri baling-baling dasar dan definisi terkait yang digunakan. Sementara masing-masing produsen baling-baling, konsultan atau tangki uji memiliki cara-cara eksklusif untuk menyajikan data geometrik baling-baling pada gambar atau dalam buku dimensi yang diproduksi baik dengan tangan atau dengan bantuan komputer, perbedaan ini paling sering dalam hal detail daripada perubahan mendasar dari definisi. Akibatnya, bab ini tidak akan secara umum memperhatikan dirinya sendiri dengan penjelasan rinci tentang masing-masing cara yang berbeda untuk merepresentasikan informasi geometrik baling-baling. Sebaliknya, ini akan menyajikan laporan umum geometri baling-baling yang akan bertindak sebagai dasar yang memadai untuk setiap aplikasi tertentu yang akan diperhatikan oleh pembaca.

2.1.1 Rangka Acuan

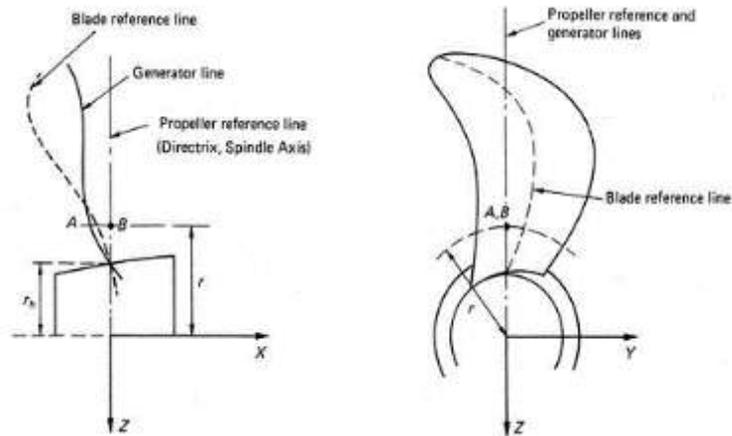
Prasyarat untuk pembahasan fitur geometrik dari setiap objek atau konsep adalah definisi dari kerangka acuan yang sesuai. Dalam kasus geometri baling-baling dan analisis hidrodinamik banyak kerangka acuan yang ditemukan dalam literatur, masing-masing, tidak diragukan, dipilih untuk beberapa keuntungan atau preferensi khusus dari penulis yang bersangkutan. Namun, pada Konferensi Internasional Towing Tank (ITTC) ke-10 tahun 1963, penyusunan kamus dan tata nama persyaratan hidrodinamika kapal dimulai; pekerjaan ini selesai pada tahun 1975 dan versi yang dikompilasi disajikan pada tahun 1978 (Referensi 1). Kerangka acuan global yang diusulkan oleh ITTC adalah yang ditunjukkan pada Gambar 2.1 (a) yang merupakan sistem Cartesian persegi panjang yang kidal. Sumbu X positif, maju dan bertepatan dengan poros poros; Y-sumbu positif ke kanan dan Z-sumbu positif dalam arah vertikal ke bawah. Sistem ini diadopsi sebagai kerangka referensi global untuk buku ini karena tidak ada perjanjian umum lainnya di bidang teknologi baling-baling. Untuk geometri baling-baling, bagaimanapun, akan lebih mudah untuk menentukan kerangka acuan lokal memiliki sumbu umum sehingga OX dan Ox adalah bertepatan, tetapi memungkinkan sumbu yang saling tegak lurus Oy dan Oz untuk memutar relatif terhadap bingkai global OY dan OZ tetap seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1 (b).



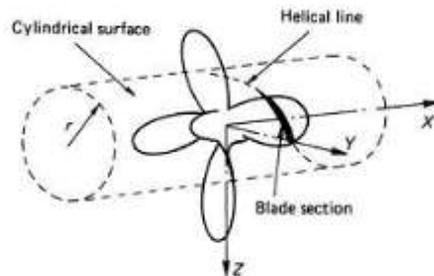
Gambar 2. 1 Rangka Acuan

2.1.2 Garis referensi Propeller

Blade baling-baling didefinisikan tentang garis normal pada sumbu poros yang disebut 'garis referensi baling-baling' atau 'directrix': kata 'directrix' menjadi istilah lama yang digunakan untuk baris ini. Dalam kasus propeller pitch terkendali, istilah 'poros spindle' sering identik dengan garis referensi atau directrix. Namun, dalam beberapa kasus desain khusus, poros spindle telah didefinisikan untuk terletak secara normal ke permukaan kerucut dangkal yang akarnya bertepatan dengan poros poros dan mengecil ke arah buritan. Dalam kasus ini poros spindle cenderung ke garis referensi oleh beberapa derajat; aplikasi seperti itu, bagaimanapun, relatif jarang. Untuk sebagian besar kasus, oleh karena itu, istilah poros spindle, directrix dan garis referensi berhubungan dengan garis yang sama, seperti dapat dilihat pada Gambar 2.2. Garis-garis ini sering, tetapi tidak harus, didefinisikan pada asal kerangka acuan Cartesian yang dibahas pada bagian sebelumnya. Bagian aerofoil yang bersama-sama terdiri dari bilah baling-baling didefinisikan pada permukaan silinder yang kapaknya konsentris dengan poros poros; maka istilah 'bagian silinder' yang sering dijumpai dalam teknologi baling-baling. Gambar 2.3 menunjukkan definisi silinder dari bagian ini, dari mana akan terlihat bahwa bagian terletak miring di atas permukaan silinder dan dengan demikian garis ekor hidungnya, menghubungkan ujung depan dan belakang dari bagian, membentuk heliks di atas silinder. Titik A ditunjukkan pada Gambar 2.2 di mana heliks ini memotong bidang yang ditentukan oleh directrix dan sumbu x adalah kepentingan khusus karena membentuk satu titik, pada radius r dari bagian yang dipertimbangkan, pada 'garis generator'. Garis gensek dengan demikian adalah lokus dari semua titik antara ujung dan akar pisau seperti yang terlihat pada Gambar 3.2. Kadang-kadang istilah 'stacking line' ditemukan, ini paling sering digunakan sebagai sinonim untuk jalur generator; Namun, ada contoh-contoh ketika istilah tersebut telah digunakan oleh para desainer untuk berarti directrix: akibatnya perawatan diperlukan untuk semua kasus kecuali kasus khusus ketika garis generator sama dengan directrix.



Gambar 2. 2 *Blade Reference Line*



Gambar 2. 3 Definisi *Cylinder Blade Section*

2.1.3 Pitch

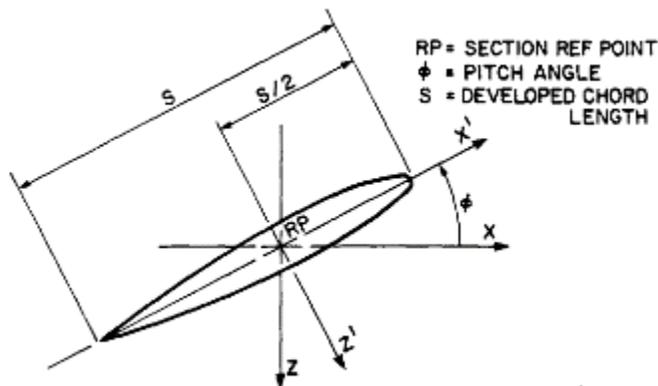
(Donal, John, 1988) Baling-baling baling-baling dibentuk dari bagian-bagian yang dikembangkan sepenuhnya yang terletak pada jari-jari R_i tertentu yang ditempatkan sehingga garis akornya berada pada sudut terhadap sumbu X horizontal pada bidang XZ (Gambar 2.4). Sudut ini disebut sudut pitch, mengikuti konvensi kanan sudut positif berlawanan arah jarum jam tentang sumbu Y atau pitch. Dalam satu putaran silinder, titik pada heliks bergerak pada jarak Z negatif $P_i = 2 \pi R_i \tan \phi_i$, dimana P_i adalah pitch pada satu *section*, R_i merupakan radius tiap *section* dan ϕ_i adalah sudut pitch tiap *section*. Pitch P_i adalah jarak aksial yang sama dengan sekrup, dengan diameter silinder dan sudut pitch yang sama, akan maju dalam satu putaran. Oleh karena itu perancang baling-baling harus menentukan pitch p_i atau sudut pitch untuk setiap bagian pada radius R. Ia juga harus menentukan diameter penuh D dari baling-baling. Seringkali, data ini diberikan sebagai nilai tak berdimensi P_i / D yang

disebut rasio pitch terhadap diameter untuk setiap jari-jari R_i . Sudut pitch, jika tidak diberikan, dapat diekstraksi dari informasi ini.

$$\phi_i = \tan^{-1} \frac{P_i / D}{2 \pi R_i / D} \quad (1)$$

Pitch juga merupakan parameter untuk menentukan sudut yang mengatur baling-baling pitch yang dapat dikontrol. Secara umum, untuk tujuan ini, sudut pitch i dari bagian blade pada jari-jari R_i sebesar 0,7 dari jari-jari penuh digunakan sebagai sudut referensi, dan pengaturan ditentukan sebagai rasio P/D di mana

$$\frac{P_{0,7}}{D} = 0,7 \pi \tan \phi_{0,7} \quad (2)$$



Gambar 2. 4 Definisi Pitch

2.1.4 Rake and Skew

(Charlton, 2007) Istilah rake dan skew, meskipun mendefinisikan geometri baling-baling di pesawat yang berbeda, memiliki komponen crosscoupling karena sifat heliks dari bagian pisau. Seperti kerangka acuan Cartesian, banyak praktisi telah mengadopsi definisi yang berbeda dari kemiringan. Penulis lebih suka definisi berikut, karena serta mengikuti kode ITTC itu juga telah diadopsi oleh beberapa otoritas lain di Eropa, Amerika Serikat dan Timur Jauh. Sudut kemiringan α (α) dari bagian tertentu, Gambar 2.7, adalah sudut antara directrix dan garis yang ditarik melalui garis pusat poros dan titik midchord dari suatu bagian pada radius non-dimensi (x) dalam proyeksi garis baling-baling; yaitu, melihat secara normal, sepanjang garis pusat poros, ke dalam bidang $y-z$ pada Gambar 2.5. Sudut maju dari directrix, yang berada di arah rotasi, dalam garis besar yang diproyeksikan dianggap negatif. Sudut miring baling-baling (θ_{sp}) didefinisikan sebagai sudut terbesar, diukur pada garis pusat

poros, dalam bidang yang diproyeksikan, yang dapat ditarik antara garis yang melintas dari garis tengah poros melalui posisi mid-chord dari setiap dua bagian. Propeller condong juga cenderung diklasifikasikan menjadi dua jenis: desain miring seimbang dan bias. Desain miring yang seimbang adalah salah satu tempat lokus garis mid-chord umumnya berpotongan dengan directrix setidaknya dua kali di bagian dalam blade. Sebaliknya, dalam desain miring miring, mid-chord locus berpotongan dengan directrix tidak lebih dari satu kali; biasanya hanya di bagian dalam. Propeller rake dibagi menjadi dua komponen: galur rake generator (i_G) dan rake terinduksi (i_s). Pengaruh total bagian dengan memperhatikan directrix (i_T) diberikan oleh:

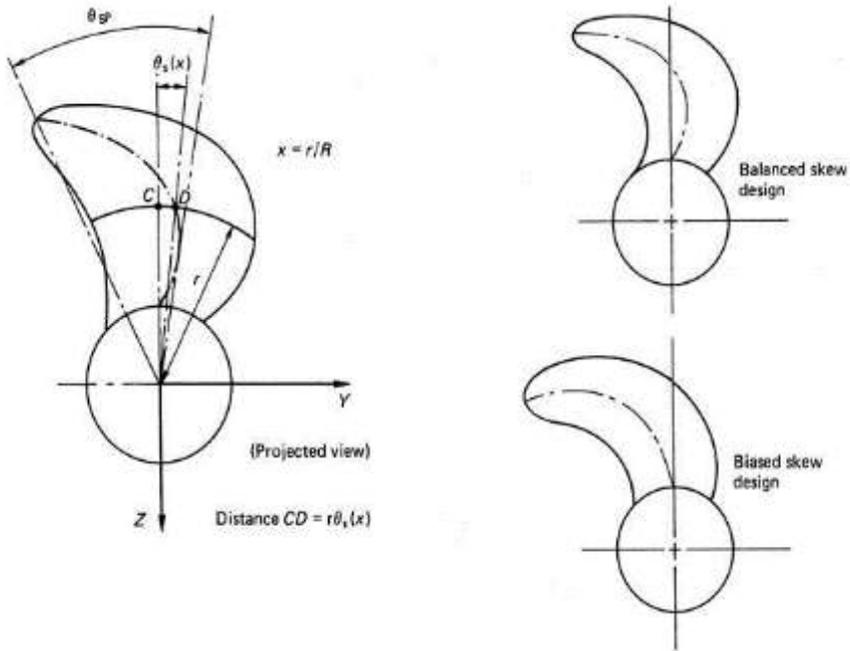
$$i_T(r) = i_s(r) + i_G(r) \quad (3)$$

Rake garis generator diukur dalam x-z-plane pada Gambar 2.1 dan hanya jarak AB yang ditunjukkan pada Gambar 2.2. Artinya, itu adalah jarak, sejajar dengan sumbu x, dari directrix ke titik di mana heliks dari bagian pada radius r memotong x-z-plane. Untuk memahami kemiringan rake diinduksi, perhatikan Gambar 2.6, yang menunjukkan 'bukaan' dua bagian silinder, satu pada akar baling-baling dan yang lainnya pada beberapa jari-jari r antara ujung dan akar pisau. Akan terlihat bahwa rake yang digerakkan miring adalah komponen, yang diukur dalam arah x, dari jarak heliks di sekitar silinder dari titik mid-chord dari bagian ke proyeksi dari directrix ketika dilihat secara normal ke y-z- pesawat. Itu adalah,

$$i_s = r\theta_s \tan(\theta nt) \quad (4)$$

Oleh karena itu, adalah mungkin kemudian untuk menentukan lokus titik mid-chord dari bilah baling-baling dalam ruang sebagai berikut untuk pisau berputar kanan yang didefinisikan awalnya, $\phi = 0$, tentang OZ-sumbu bingkai referensi global (Gambar 2.7)

$$\left. \begin{aligned} X_{c/2} &= -[i_G + r\theta_s \tan(\theta_{nt})] \\ Y_{c/2} &= -r \sin(\phi - \theta_s) \\ Z_{c/2} &= r \cos(\phi - \theta_s) \end{aligned} \right\} \quad (5)$$



Gambar 2. 5 Skew

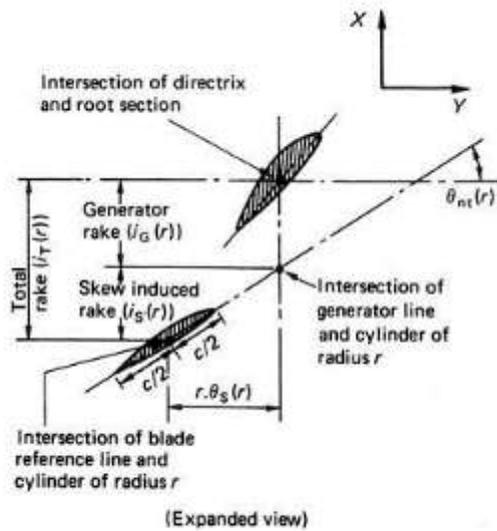


Figure 3.8 Definition of total rake

Gambar 2. 6 Total Rake

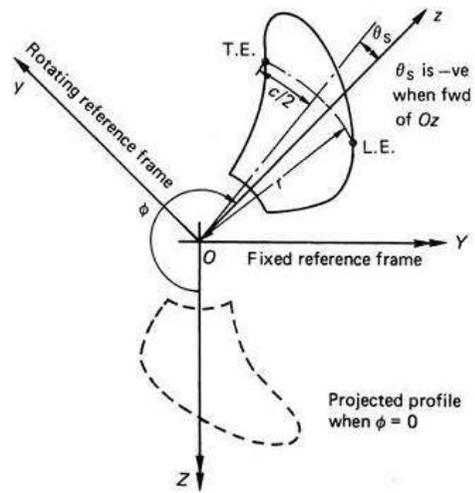
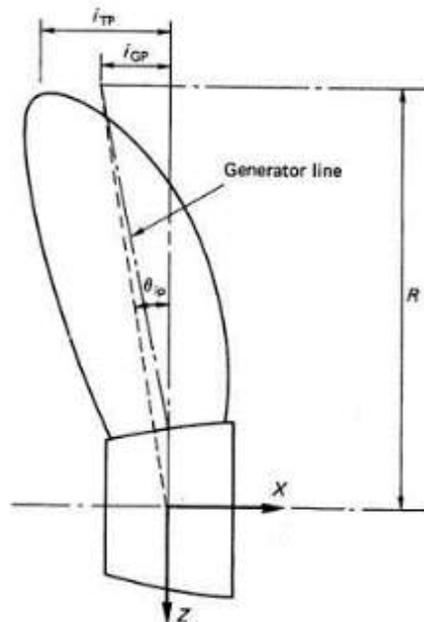


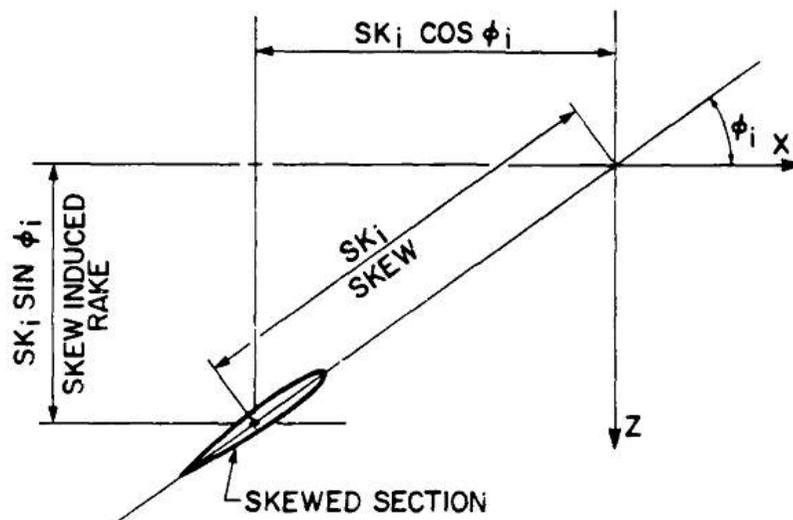
Figure 3.9 Blade coordinate definition

Gambar 2. 7 Koordinat Blade



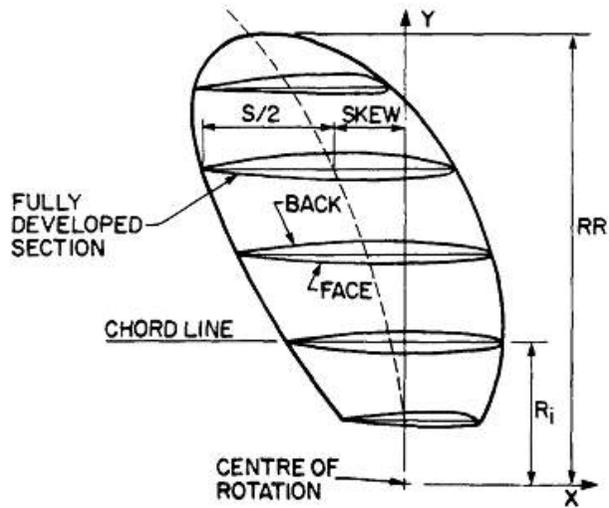
Gambar 2. 8 Tip Rake

(Donald R. Smith, 1988) Bilah geometri sederhana memiliki midchords atau, dalam beberapa kasus, titik-titik ketebalan maksimum dari bagian blade bertepatan dengan pitch blade atau sumbu spindle. Bilah lain dari geometri yang lebih canggih memiliki bagian-bagiannya dipindahkan di sepanjang garis akor mereka dari poros spindle. Perpindahan ini disebut condong. Ini diterapkan untuk mengurangi pembebanan hidrodinamik yang goyah pada blade ketika baling-baling beroperasi dengan sangat tidak seragam di belakang lambung kapal. Kemiringan dapat diperlihatkan pada tampilan bagian blade yang sepenuhnya terbuka dan tidak terbungkus (Gambar 2.9) sebagai dimensi linier di sepanjang garis chord bagian dari persimpangan dengan sumbu Z. Kemiringan bagian direferensikan ke midchord atau titik ketebalan maksimum (mis. Titik referensi bagian blade). Kemiringan positif memindahkan bagian di sekitar poros poros dalam arah aliran, berlawanan dengan arah rotasi poros.



Gambar 2.9 *Propeller Section Unwrapped*

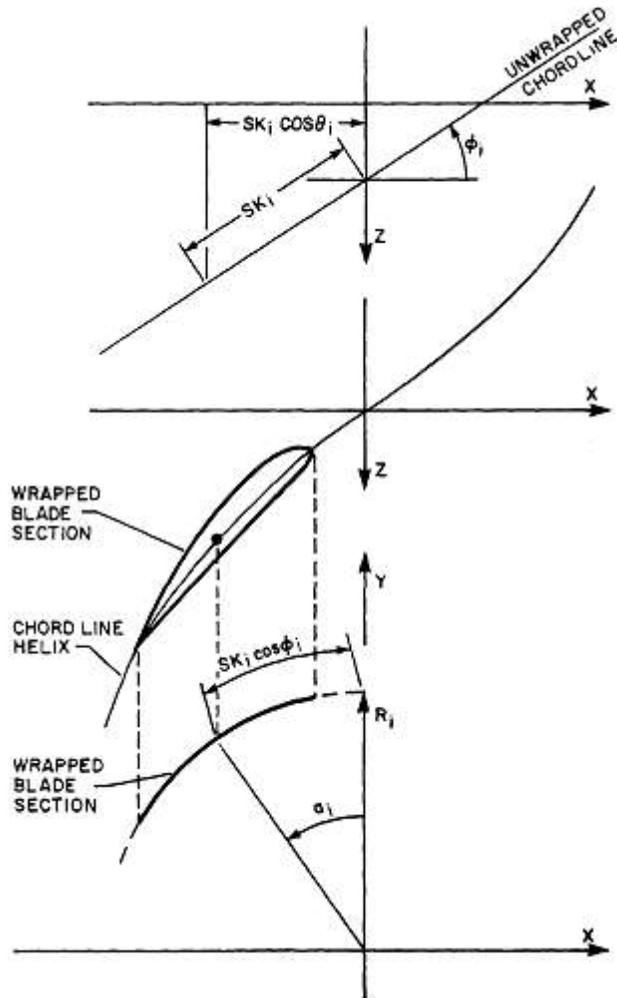
Kemiringan juga dapat ditampilkan sebagai dimensi linier sejati pada diagram pandangan yang diperluas dari blade (Gambar 2.10). Bagian yang sepenuhnya dikembangkan diletakkan rata pada bidang XY dengan titik referensi bagiannya dipindahkan ke arah sumbu X negatif dengan jarak yang sama dengan kemiringan di sepanjang garis referensi blade. Oleh karena itu, kemiringan positif diukur sepanjang sumbu X negatif dan kemiringan negatif sepanjang sumbu X positif.



Gambar 2. 10 Expanded View

Kemiringan kadang-kadang ditentukan dalam bentuk sudut sebagai sudut α_i yang disebut sudut kemiringan, diproyeksikan pada bidang XY, di mana titik rujukan bagian yang dibungkus dipindahkan (Gambar 2.11). Dalam hal ini, dimensi kemiringan linier SK_i untuk bagian ke-i dapat diperoleh dengan mengalikan sudut kemiringan yang diproyeksikan α_i (radian) dengan jari-jari R_i dan membaginya dengan kosinus sudut pitch ϕ_i , yaitu:

$$SK_i = \frac{R_i / \alpha_i}{\cos \phi_i} \quad (6)$$



Gambar 2. 11 *Wrapped Section Skew*

2.2 Geometri Propeller B-Series

(Kuiper, 1992) Sebelum menjelaskan geometri B-series seperti yang telah digunakan dalam rangkaian sistematis, harus disebutkan bahwa hanya parameter-parameter yang mempengaruhi karakteristik propulsive dari baling-baling yang menarik. Ini karena B-series digunakan untuk prediksi dan optimalisasi Karakteristik propulsive baling-baling saja: dorong, torsi, dan jumlah putaran. Prediksi Cavitasi membutuhkan penjelasan rinci tentang geometri baling-baling.

Karakteristik geometris yang paling penting dari B-series baling-baling adalah variabel yang bervariasi secara sistematis: rasio diameter pitch, rasio luas blade, jumlah baling-baling. Untuk karakteristik kinerja distribusi camber dan terutama camber

maksimum adalah penting. Parameter lain hanya sedikit atau sedikit penting untuk karakteristik propulsive baling-baling.

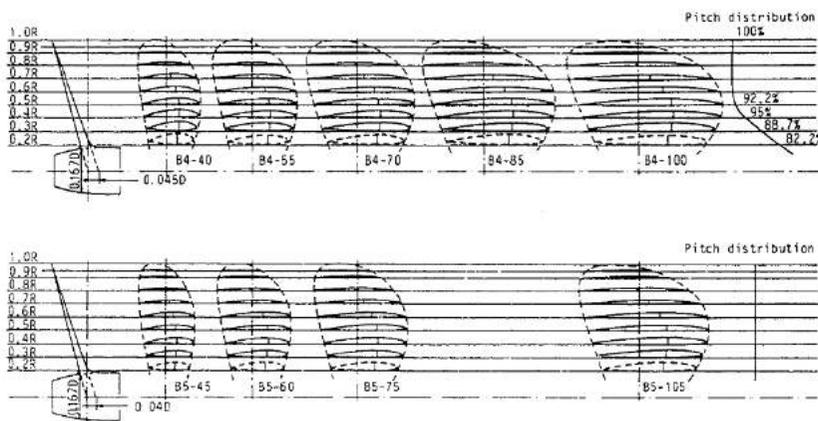
penampang pisau penting untuk perilaku kavitasi baling-baling, tetapi mereka tidak terlalu penting untuk karakteristik kinerja. Ini juga berlaku untuk sejumlah kecil kemiringan. Kemiringan besar mempengaruhi distribusi beban radial dan dengan demikian secara tidak langsung efisiensi. B-series memiliki sedikit kemiringan.

2.2.1 Blade Countour

Kontur pisau Dari B-series telah ditentukan berdasarkan rasio luas area yang diperluas dan jumlah blade Z. Panjang chord pada radius tertentu telah didefinisikan sebagai

$$c(r) = \frac{K(r) \times D \times EAR}{Z} \quad (7)$$

Konstanta K (r) telah dipilih sebagai fungsi jari-jari, sehingga mendefinisikan kontur pisau untuk semua rasio luas oleh satu tabel. Rangkaian awal dari dua dan tiga baling-baling berbilah memiliki kontur yang sedikit berbeda dari rangkaian baling-baling berbilah empat sampai tujuh berikutnya tetapi perbedaannya dapat diabaikan sehubungan dengan kinerja. Demi kesederhanaan hanya kontur terakhir yang diberikan. Faktor K, dari persamaan. 7 Dalam tabel ini cr adalah panjang chord pada radius tertentu dan condong adalah jarak antara bagian midchord dan garis generator. Kemiringan dibuat non-dimensi dengan cr. Sebuah condong positif berarti bahwa midchord diposisikan ke depan dari garis generator. Lalu ada condong ke depan.



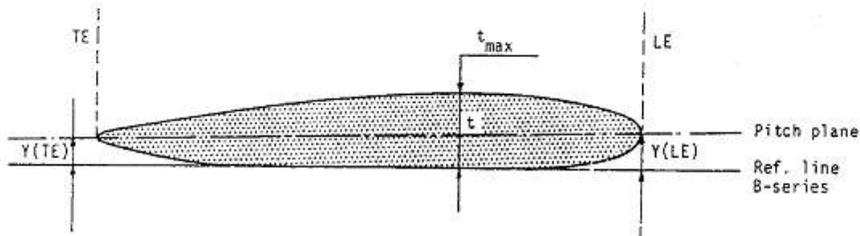
Gambar 2. 12 Contour B-Series Propeller

2.2.2 Distribusi Pitch Radial

B-series memiliki nada konstan di semua jari-jari. Hanya empat seri berbilah memiliki pengurangan pitch dari 0,5R ke hub, sehingga pitch di hub adalah 80 persen

dari pitch di jari-jari luar. Ini dilakukan untuk menyesuaikan baling-baling ke distribusi bangun di sekitar hub. Efek dari pengurangan pitch ini pada parameter propulsi dapat diabaikan. Pada dasarnya pitch konstan di atas jari-jari harus diambil Ketika desain B-series dibuat.

2.2.3 Blade Section



Gambar 2. 13 Blade Section

Bagian pisau yang digunakan pada masa itu sering memiliki sisi tekanan datar di sebagian besar akor. Garis referensi disebut garis pitch, tetapi harus diingat bahwa ini bukan garis pitch sebagaimana didefinisikan dalam bagian 2. Efek dari perbedaan Akan dibahas nanti di bagian ini. Geometri bagian pisau seperti yang didefinisikan untuk seri-B diberikan relatif terhadap posisi ketebalan maksimum, baik untuk tekanan dan sisi hisap. Akibatnya geometri bagian diberikan dalam empat bagian:

- sisi hisap antara titik ketebalan maksimum dan tepi depan.
- sisi hisap antara titik ketebalan maksimum dan trailing edge.
- sisi tekanan antara titik ketebalan maksimum dan tepi depan.
- sisi tekanan antara titik ketebalan maksimum dan trailing

Koordinat Dari bagian pisau diberikan sebagai jarak ke garis referensi melalui sisi tekanan, dibuat non-dimensi oleh ketebalan t_{max} dari bagian tersebut. Semua koordinat dinyatakan sebagai persentase dari ketebalan maksimum. Posisi chord diberikan sebagai persentase jarak antara titik ketebalan maksimum (lihat tabel) dan tepi leading / trailing. Lokasi ketebalan maksimum selalu 0%. Ketebalan terdepan baling-baling B-series sekitar 0.2t_{max}. Formulasi untuk geometri sisi tekanan adalah

$$y_{face} = V_1(t_{max} - t_{l.e.}) \quad (8)$$

Distribusi ketebalan ditulis sebagai:

$$t_r = V_2(t_{max} - t_{l.e.}) + t_{l.e.} \quad (9)$$

Geometri sisi hisapan atau bagian belakang pisau dapat ditemukan dari penjumlahan dan tr.

(Edward V. 1988) Koordinat profil yang diperlukan dapat dihitung dengan menggunakan rumus, analog dengan rumus yang diberikan oleh Van Gent, et al (1973) dan Van ossanen (1974), yaitu:

$$\begin{aligned} y_{\text{face}} &= V_1(t_{\text{max}} - t_{l.e.}) \\ y_{\text{back}} &= (V_1 + V_2)(t_{\text{max}} - t_{l.e.}) \end{aligned} \left. \vphantom{\begin{aligned} y_{\text{face}} \\ y_{\text{back}} \end{aligned}} \right\} \text{for } P > 0$$

$$\begin{aligned} y_{\text{face}} &= V_1(t_{\text{max}} - t_{t.e.}) \\ y_{\text{back}} &= (V_1 + V_2)(t_{\text{max}} - t_{t.e.}) \end{aligned} \left. \vphantom{\begin{aligned} y_{\text{face}} \\ y_{\text{back}} \end{aligned}} \right\} \text{for } P \leq 0 \quad (10)$$

Nilai V1 dan V2 diberikan dalam gambar:

Values of V_1 for use in the equations

r/R	P	-1.0	-0.95	-0.9	-0.8	-0.7	-0.6	-0.5	-0.4	-0.2	0	
0.7-1.0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0.6		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0.5		0.0522	0.0420	0.0330	0.0190	0.0100	0.0040	0.0012	0	0	0	
0.4		0.1467	0.1200	0.0972	0.0630	0.0395	0.0214	0.0116	0.0044	0	0	
0.3		0.2306	0.2040	0.1790	0.1333	0.0943	0.0623	0.0376	0.0202	0.0033	0	
0.25		0.2598	0.2372	0.2115	0.1651	0.1246	0.0899	0.0579	0.0350	0.0084	0	
0.2		0.2826	0.2630	0.2400	0.1967	0.1570	0.1207	0.0880	0.0592	0.0172	0	
0.15		0.3000	0.2824	0.2650	0.2300	0.1950	0.1610	0.1280	0.0955	0.0365	0	
r/R	P	+1.0	+0.95	+0.9	+0.85	+0.8	+0.7	+0.6	+0.5	+0.4	+0.2	0
0.7-1.0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.6		0.0382	0.0169	0.0067	0.0022	0.0006	0	0	0	0	0	0
0.5		0.1278	0.0778	0.0500	0.0328	0.0211	0.0085	0.0034	0.0008	0	0	0
0.4		0.2181	0.1467	0.1088	0.0833	0.0637	0.0357	0.0189	0.0090	0.0033	0	0
0.3		0.2923	0.2186	0.1760	0.1445	0.1191	0.0790	0.0503	0.0300	0.0148	0.0027	0
0.25		0.3256	0.2513	0.2068	0.1747	0.1465	0.1008	0.0669	0.0417	0.0224	0.0031	0
0.2		0.3560	0.2821	0.2353	0.2000	0.1685	0.1180	0.0804	0.0520	0.0304	0.0049	0
0.15		0.3860	0.3150	0.2642	0.2230	0.1870	0.1320	0.0920	0.0615	0.0384	0.0096	0

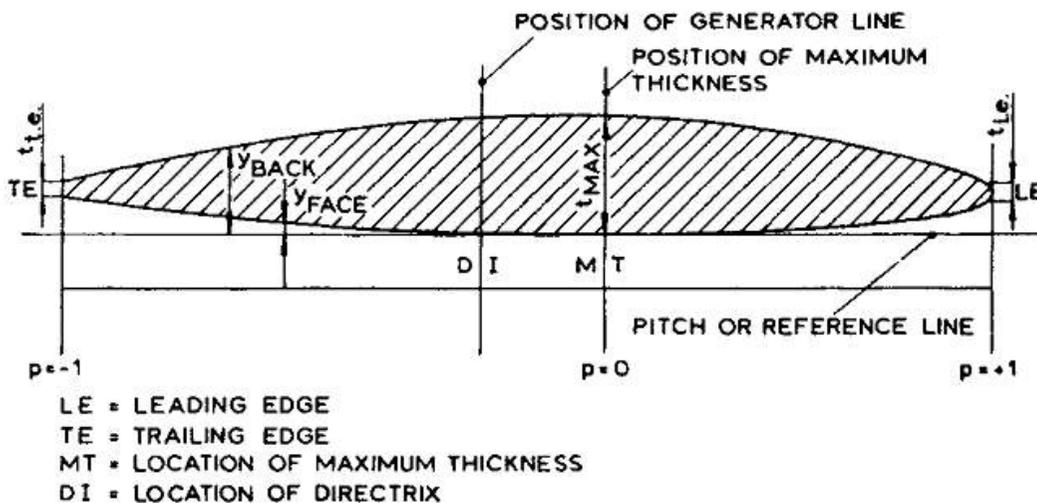
Gambar 2. 14 Nilai V1

Values of V_2 for use in the equations

r/R	P	-1.0	-0.95	-0.9	-0.8	-0.7	-0.6	-0.5	-0.4	-0.2	0
0.9-1.0	0	0.0975	0.19	0.36	0.51	0.64	0.75	0.84	0.96	1	1
0.85	0	0.0975	0.19	0.36	0.51	0.64	0.75	0.84	0.96	1	1
0.8	0	0.0975	0.19	0.36	0.51	0.64	0.75	0.84	0.96	1	1
0.7	0	0.0975	0.19	0.36	0.51	0.64	0.75	0.84	0.96	1	1
0.6	0	0.0965	0.1885	0.3585	0.5110	0.6415	0.7530	0.8426	0.9613	1	1
0.5	0	0.0950	0.1865	0.3569	0.5140	0.6439	0.7580	0.8456	0.9639	1	1
0.4	0	0.0905	0.1810	0.3500	0.5040	0.6353	0.7525	0.8415	0.9645	1	1
0.3	0	0.0800	0.1670	0.3360	0.4885	0.6195	0.7335	0.8265	0.9583	1	1
0.25	0	0.0725	0.1567	0.3228	0.4740	0.6050	0.7184	0.8139	0.9519	1	1
0.2	0	0.0640	0.1455	0.3060	0.4535	0.5842	0.6995	0.7984	0.9446	1	1
0.15	0	0.0540	0.1325	0.2870	0.4280	0.5585	0.6770	0.7805	0.9360	1	1

r/R	P	+1.0	+0.95	+0.9	+0.85	+0.8	+0.7	+0.6	+0.5	+0.4	+0.2	0
0.9-1.0	0	0.0975	0.1900	0.2775	0.3600	0.51	0.6400	0.75	0.8400	0.9600	1	1
0.85	0	0.1000	0.1950	0.2830	0.3660	0.5160	0.6455	0.7550	0.8450	0.9615	1	1
0.8	0	0.1050	0.2028	0.2925	0.3765	0.5265	0.6545	0.7635	0.8520	0.9635	1	1
0.7	0	0.1240	0.2337	0.3300	0.4140	0.5615	0.6840	0.7850	0.8660	0.9675	1	1
0.6	0	0.1485	0.2720	0.3775	0.4620	0.6060	0.7200	0.8090	0.8790	0.9690	1	1
0.5	0	0.1750	0.3056	0.4135	0.5039	0.6430	0.7478	0.8275	0.8880	0.9710	1	1
0.4	0	0.1935	0.3235	0.4335	0.5220	0.6590	0.7593	0.8345	0.8933	0.9725	1	1
0.3	0	0.1890	0.3197	0.4265	0.5130	0.6505	0.7520	0.8315	0.8020	0.9750	1	1
0.25	0	0.1758	0.3042	0.4108	0.4982	0.6359	0.7415	0.8259	0.8899	0.9751	1	1
0.2	0	0.1560	0.2840	0.3905	0.4777	0.6190	0.7277	0.8170	0.8875	0.9750	1	1
0.15	0	0.1300	0.2600	0.3665	0.4520	0.5995	0.7105	0.8055	0.8825	0.9760	1	1

Gambar 2. 15 Nilai V_2



Gambar 2. 16 Geometri Blade Section Wageningen B-Series

Pada Tabel Gambar 2.17 C_r adalah panjang chord dari bagian blade pada radius r / R , a_r adalah jarak antara leading edge dan jalur generator pada radius r / R , b_r adalah jarak antara tepi depan dan ketebalan maksimum bagian blade di r / R , S_r adalah ketebalan bagian blade maksimum pada radius r / R

Dimensions of four-, five-, six- and seven-bladed propellers					
r/R	$\frac{c}{D} \cdot \frac{Z}{A_E/A_O}$	a/c	b/c	$t/D = A_r - B_r Z$	
				A_r	B_r
0.2	1.662	0.617	0.350	0.0526	0.0040
0.3	1.882	0.613	0.350	0.0464	0.0035
0.4	2.050	0.601	0.351	0.0402	0.0030
0.5	2.152	0.586	0.355	0.0340	0.0025
0.6	2.187	0.561	0.389	0.0278	0.0020
0.7	2.144	0.524	0.443	0.0216	0.0015
0.8	1.970	0.463	0.479	0.0154	0.0010
0.9	1.582	0.351	0.500	0.0092	0.0005
1.0	0.000	0.000	0.000	0.0030	0.0000

Gambar 2. 17 Dimensi untuk daun 4, 5, 6, dan 7 Wageningen B-Series

2.2.4 *Blade Thickness*

Geometri bagian bergantung pada dua parameter, ketebalan maksimum dan posisi ketebalan minimum. posisi lokasi ketebalan maksimum dari leading edge sebagai pecahan dari chord c_r . Geometri bagian telah dirumuskan ulang dan diberikan ref. [21]. Ketebalan bagian pisau untuk semua baling-baling dikurangi menjadi

$$\frac{t_r}{D} = A_r - B_r Z \quad (11)$$

dimana Z adalah jumlah pisau. Koefisien A_r dan B_r diberikan.

2.2.5 *Effect of Definition of Pitch Line*

Geometri bagian pisau diambil dengan sisi tekanan sebagai garis referensi. Bidang pitch melalui ujung depan dan belakangnya berbeda. Sudut antara bagian chord dan sisi tekanan di bagian B-series kecil di jari-jari luar, yang merupakan wilayah di mana dorong baling-baling dikembangkan. Pada jari-jari dalam sudut antara bagian chord dan sisi tekanan dari profil B-series lebih besar. Sudut antara akor dan sisi tekanan Baling-baling dapat ditemukan dari perbedaan koordinat di leading (YLE) dan trailing edge (YTE). Tangen Dari sudut δ_p ditemukan dari

$$\tan \delta_p = \frac{y_{LE} - y_{TE}}{2} \frac{t_{max}}{c_r} \quad (12)$$

Kesulitannya adalah bahwa di sisi hisap tidak diekstrapolasikan sampai leading edge. Ini sudah dilakukan. Nilai $\tan \delta_p$ dari tabel terakhir adalah

$$0.07 \frac{t_{max}}{c_r}$$

untuk $r / R < 0,6$ dan nol di luar $0,6R$. Peningkatan pitch, karena perbedaan ini, tergantung pada rasio ketebalan maksimum dan pada bagian chordlength dari blade. Untuk baling-baling empat bilah dengan rasio area blade 0,70, rasio diameter chord $0,5R$ dari tabel 4.1 ditemukan menjadi

$$\frac{c_r}{D} = \frac{2.152 \times 0.70}{4} = 0.377$$

Rasio ditemukan dari tabel menjadi 0,0240. Nilai untuk $\tan \delta$ dapat ditemukan

$$\tan \delta = \frac{0.07 \times 0.0240}{0.377} = 0.004$$

Sudut antara garis pitch dan sisi tekanan kira-kira 0,25 derajat dalam kasus ini. Dalam hal pitch ini adalah peningkatan kurang dari satu persen, tergantung pada pitch bagian baling-baling yang terlibat. Sebuah pitch konstan relatif terhadap sisi tekanan bagian karena itu berarti peningkatan nada sedikit dalam hal definisi pitch modern. Ini hanya terjadi pada jari-jari dalam, di mana efek pada pemuatan kecil. Oleh karena itu, kesimpulannya adalah bahwa pilihan bidang pitch tidak penting. Meskipun pitch di B-series didefinisikan sepanjang sisi tekanan dari bagian blade, definisi modern dari pitch melalui chord dari bagian blade juga dapat digunakan.

2.2.6 Distribusi Maksimum Chamber B-Series

Untuk kinerja baling-baling (daya serap dan laju rotasi) satu-satunya parameter penting selain parameter yang bervariasi secara sistematis adalah distribusi camber, dan terutama camber maksimum. Ketika bagian pisau digunakan dalam desain baling-baling, tidak perlu menggunakan bagian B-series. Tetapi ketika tingkat rotasi dan dorongan dari diagram B-series harus dipertahankan, camber maksimum harus dipertahankan. jadi penting untuk mengetahui camber maksimum dari bagian pisau yang digunakan pada baling-baling B-series.

Camber maksimum bagian B-series dapat dengan mudah ditemukan dari setengah ketebalan maksimum, kecuali bahwa pada jari-jari dalam nilai ini harus dikurangi dengan jarak rata-rata Dari sisi tekanan dari garis referensi melalui sisi bagian tekanan. Dengan menggunakan data bagian yang diperhitungkan dan diekstrapolasi, pengurangan ini diberikan. Camber maksimum sekarang hanya dapat ditemukan dari

$$f_{max} = \frac{t_{max}}{2} - K_f \times t_{max} \quad (13)$$

Koreksi tabel terbatas pada jari-jari bagian dalam, di mana lift bagian kecil. Sebagai aturan, camber maksimum yang diperlukan dari bagian blade baling-baling berdasarkan diagram B-series harus memiliki camber maksimum yang sama dengan setengah ketebalan maksimum.

2.2.7 Rake

Semua propeler B-series memiliki sudut penggaruk 15 derajat. Untuk baling-baling sekarang ini agak tinggi. Pengurangan atau tidak adanya penggaruk dapat meningkatkan efisiensi baling-baling sedikit.

2.2.8 Hub Diameter

Semua baling-baling B-series lainnya memiliki diameter hub 1/6 dari diameter. Dalam prakteknya efek dari perbedaan itu dapat diabaikan.

2.3 *Open Water Result*

Hasil dari B-series diberikan sebagai kurva air terbuka. Bentuk di mana hasil air terbuka diberikan adalah representasi air terbuka non-dimensi, di mana koefisien dentakan K_t dan koefisien torsi K_q diplot terhadap rasio muka J .

$$J = \frac{V_a}{nD} \quad (14)$$

$$K_t = \frac{T}{\rho n^2 D^4} \quad (15)$$

$$K_q = \frac{Q}{\rho n^2 D^5} \quad (16)$$

Efisiensi air terbuka dari baling-baling didefinisikan sebagai rasio daya yang dipasang ke poros dan daya yang dikirim oleh baling-baling. Daya yang dikirim ke poros adalah $2\pi Qn$. Daya yang dihasilkan oleh baling-baling adalah dorong T kali kecepatan V_a , sehingga daya $T V_a$. Rasio ini

$$\eta_0 = \frac{T V_a}{2\pi Q n} = \frac{K_T J}{2\pi K_Q} \quad (17)$$

2.4 Polynomial Wagneningen B-Series

Polynomial dibawah merupakan angka-angka eksponensial yang hasil dari perhitungannya dapat menjadikan sebuah grafik K_t , K_q , J , dan Efisiensi dari masing-masing parameter propeller. (Charlton, 2007) Hasil latihan fairing yang dilaporkan oleh

Oosterveld membuka jalan bagi studi regresi terperinci tentang karakteristik kinerja yang diberikan oleh seri model ini. Oosterveld dan van Oossanen (Referensi 7) melaporkan temuan pekerjaan ini di mana karakteristik air terbuka dengan persamaan bentuk sebagai berikut:

$$K_Q = \sum_{n=1}^{47} C_n(J)^{S_n}(P/D)^{t_n}(A_E/A_O)^{u_n}(Z)^{v_n}$$

$$K_T = \sum_{n=1}^{39} C_n(J)^{S_n}(P/D)^{t_n}(A_E/A_O)^{u_n}(Z)^{v_n} \quad (18)$$

n	$C_{s,t,u,v}$	$s(J)$	$t(P/D)$	$u(A_E/A_O)$	$v(Z)$	n	$C_{s,t,u,v}$	$s(J)$	$t(P/D)$	$u(A_E/A_O)$	$v(Z)$
1	+0.00880496	0	0	0	0	1	+0.00379368	0	0	0	0
2	-0.204554	1	0	0	0	2	+0.00886523	2	0	0	0
3	+0.166351	0	1	0	0	3	-0.032241	1	1	0	0
4	+0.158114	0	2	0	0	4	+0.00344778	0	2	0	0
5	-0.147581	2	0	1	0	5	-0.0408811	0	1	1	0
6	-0.481497	1	1	1	0	6	-0.108009	1	1	1	0
7	+0.415437	0	2	1	0	7	-0.0885381	2	1	1	0
8	+0.0144043	0	0	0	1	8	+0.188561	0	2	1	0
9	-0.0530054	2	0	0	1	9	-0.00370871	1	0	0	1
10	+0.0143481	0	1	0	1	10	+0.00513696	0	1	0	1
11	+0.0606826	1	1	0	1	11	+0.0209449	1	1	0	1
12	-0.0125894	0	0	1	1	12	+0.00474319	2	1	0	1
13	+0.0109689	1	0	1	1	13	-0.00723408	2	0	1	1
14	-0.133698	0	3	0	0	14	+0.00438388	1	1	1	1
15	+0.00638407	0	6	0	0	15	-0.0269403	0	2	1	1
16	-0.00132718	2	6	0	0	16	+0.0558082	3	0	1	0
17	+0.168496	3	0	1	0	17	+0.0161886	0	3	1	0
18	-0.0507214	0	0	2	0	18	+0.00318086	1	3	1	0
19	+0.0854559	2	0	2	0	19	+0.015896	0	0	2	0
20	-0.0504475	3	0	2	0	20	+0.0471729	1	0	2	0
21	+0.010465	1	6	2	0	21	+0.0196283	3	0	2	0
22	-0.00648272	2	6	2	0	22	-0.0502782	0	1	2	0
23	-0.00841728	0	3	0	1	23	-0.030055	3	1	2	0
24	+0.0168424	1	3	0	1	24	+0.0417122	2	2	2	0
25	-0.00102296	3	3	0	1	25	-0.0397722	0	3	2	0
26	-0.0317791	0	3	1	1	26	-0.00350024	0	6	2	0
27	+0.018604	1	0	2	1	27	-0.0106854	3	0	0	1
28	-0.00410798	0	2	2	1	28	+0.00110903	3	3	0	1
29	-0.000606848	0	0	0	2	29	-0.000313912	0	6	0	1
30	-0.0049819	1	0	0	2	30	+0.0035985	3	0	1	1
31	+0.0025983	2	0	0	2	31	-0.00142121	0	6	1	1
32	-0.000560528	3	0	0	2	32	-0.00383637	1	0	2	1
33	-0.00163652	1	2	0	2	33	+0.0126803	0	2	2	1
34	-0.000328787	1	6	0	2	34	-0.00318278	2	3	2	1
35	+0.000116502	2	6	0	2	35	+0.00334268	0	6	2	1
36	+0.000690904	0	0	1	2	36	-0.00183491	1	1	0	2
37	+0.00421749	0	3	1	2	37	+0.000112451	3	2	0	2
38	+0.0000565229	3	6	1	2	38	-0.0000297228	3	6	0	2
39	-0.00146564	0	3	2	2	39	+0.000269551	1	0	1	2
						40	+0.00083265	2	0	1	2
						41	+0.00155334	0	2	1	2
						42	+0.000302683	0	6	1	2
						43	-0.0001843	0	0	2	2
						44	-0.000425399	0	3	2	2
						45	+0.0000869243	3	3	2	2
						46	-0.0004659	0	6	2	2
						47	+0.0000554194	1	6	2	2

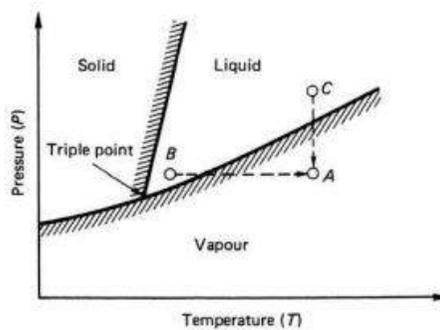
Gambar 2. 18 Angka Eksponensial Poyynomial Wageningen B-Series

2.5 Kavitasi

Kavitasi adalah timbulnya atau terbentuknya suatu gelembung-gelembung gas pada bagian daun propeller dikarenakan tekanan menurun dengan suhu yang tetap akan menyebabkan terjadi penguapan walaupun air akan mendidih atau menguap pada suhu 100 derajat celsius. (Lewis, 1988) Kavitas adalah fenomena yang ditemui dalam baling-baling yang sangat sarat muatan, di mana di luar revolusi kritis tertentu, ada gangguan progresif dalam aliran dan akibatnya hilangnya dorongan. Dalam bentuknya yang ekstrem, itu dapat mencegah kapal mencapai kecepatan yang diinginkan. Namun, sebelum tahap ini tercapai, ia memanifestasikan dirinya dengan kebisingan, getaran, dan erosi pada baling-baling baling-baling, penyangga, dan kemudi. Pada hari-hari awal masalah ini terbatas pada kapal berkecepatan tinggi, tetapi karena kecepatan dan kekuatan telah meningkat, aspek erosi kavitasi telah menjadi semakin penting, khususnya di kapal dengan sekrop tunggal berkekuatan tinggi. Di kapal seperti itu, ada variasi bangun besar di atas baling-baling cakram, yang mendorong kavitasi, dan perlu untuk memberikan pertimbangan khusus untuk jarak bebas baling-baling dari lambung dan untuk efek kelebihan propeiler dalam cuaca buruk atau ketika bagian bawah kapal kotor. Menghindari kavitasi dan erosi telah menjadi persyaratan penting dalam desain hampir semua baling-baling, dan perlu untuk mempertimbangkan masalah kavitasi sebelum melanjutkan ke metode desain baling-baling. Salah satu referensi paling awal untuk kavitasi pada baling-baling laut dibuat oleh Osborne Reynolds, yang pada tahun 1875 merujuk pada efek balap baling-baling (Newton, 1961). Kasus pertama yang sepenuhnya dicatat tentang kemunculannya di kapal adalah kapal perusak Inggris Daring pada tahun 1894 (Barnaby, 1897). Dengan baling-baling berbilah tiga kembar asli, kapal yang diadili hanya mencapai kecepatan 24 knot, bukannya 27 yang diinginkan. Ketika sekrop ini digantikan oleh pasangan lain dengan area blade 45 persen lebih banyak, tidak hanya 24 knot dicapai dengan daya 17 persen lebih sedikit, tetapi kecepatan tertinggi 29,25 knot tercapai, dengan dihilangkannya sebagian besar getaran yang sebelumnya dialami.

2.5.1 Dasar prinsip dan penyebab terjadi kavitasi

Kavitasi sendiri yaitu suatu pembentukan gelembung gas udara karena tekanan yang sangat rendah mencapai dibawah tekanan uap, sehingga air menguap pada tekanan rendah. Seperti pada gambar 13 suhu terhadap tekanan sebagai berikut:



Gambar 2. 19 Tekanan Terhadap Suhu

Apabila suatu keadaan benda B ataupun C dengan salah satu suhu atau tekanan menurun dibawah garis terjadinya vapor maka disitu akan terjadi gelembung yang menyebabkan terjadinya kavitasi, sementara penyebab terjadinya kavitasi bisa dikarenakan tekanan dan suhu. Dimana tekanan sangat dipengaruhi oleh kecepatan propeller, apabila suatu propeller kecepatan lebih cepat maka tekanan akan lebih rendah yang pada akhirnya menyebabkan kavitasi.

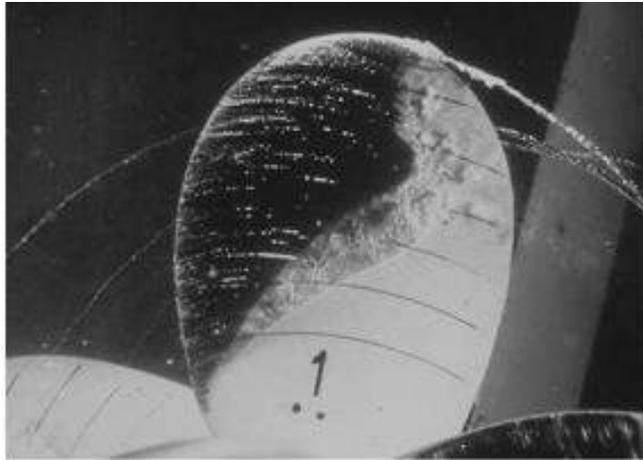
2.5.2 Macam Kavitasi

Laboratorium uji kavitasi membuat sebuah sketsa ataupun memotret pola suatu kavitasi yang terjadi. Demikian dari hasil itu sering memberikan penjelasan hasil yang didapat berdasarkan pada penglihatan mata, yaitu adanya kavitasi berupa uap (cloud), busa (foam), kabut (mist), lembaran (sheet), gelembung, buih (froth), bercak (spot), dan garis (streak), dan sebagainya. Dari segi fisika mengenai proses kavitasi, perbedaan kavitasi menurut jenisnya. Namun demikian perbedaan itu dalam prakteknya terdapat banyak kegunaannya. Tidak ada standar nyata yang dipakai dalam yang dapat dipakai untuk menerangkan jenis kavitasi. tetapi bentuk kavitasi harus mencakup keterangan mengenai letak, ukuran, struktur, dan dinamika kavitasi, maupun dinamika aliran yang terjadi. Untuk macamnya menurut Tutug Triasniawan (hal: 4) yaitu:

A. Berdasarkan letak

Kavitasi berdasarkan letak antara lain:

- Ujung propeller
Contoh: Kavitasi diujung atau tip, yaitu kavitasi yang terjadi di permukaanujung propeller. kavitasi pusaran (vortex cavitation), yaitu terjadi adanya tekanan rendah menjadikan pusaran (tip vortex).
- Pangkal (Root fillet)
Contoh: Kavitasi pangkal daun (root cavitation), yaitu terjadi tekanan rendah di pangkal daun propeller.
- Celah antara daun dan tabung baling-baling (Hub atau konis)



Gambar 2. 20 Kavitasi Pada Propeller

B. Menurut letak penampang, misalnya penampang di tengah (midchord)

Kavitasi berdasarkan letak penampang antara lain:

- Tepi depan
- Tepi ikut: kavitasi pusaran (trailing vortex cavitation). Kavitasi ini adalah kavitasi dengan tekanan rendah di pusaran ikut di dalam aliran meninggalkan propeller.
- Alas
- Sisi hisap (punggung): Contoh kavitasi yang terjadi pada punggung atau sisi hisap propeller.
- Sisi tekanan (muka): Contoh (face cavitation) adalah kavitasi pada sisi tekanan (muka) ppropeller. Kavitasi pada umumnya ditimbulkan akibat kerja propeller yang sedemikian rupa hingga sudut pukul lokal daun baling-baling itu sangat negatif.
- Antara baling-baling dan badan kapal: (propeller-hull vortex cavitation) kavitasi yang terjadi pusaran ujung daun baling-baling yang dalam interval tertentu merentang hingga mencapai permukaan badan kapal.

C. Berdasarkan struktur

Kavitasi berdasarkan struktur antara lain:

- Kavitasi lembaran atau (sheet cavitation)
- Kavitasi bercak bebentuk lembaran; sempit, melekat pada permukaan, timbul suatu bercak kekasaran yang terpendcil.
- Kavitasi garis
- Kavitasi awan (dibagian belakang atau ujung patah kavitasi lembaran dalam medan arus ikut, umumnya terkait dengan erosi)

- Kavitasi gelembung
- Kavitasi pusaran

2.5.3 Kerugian Kavitasi

Kerugian kavitasi dapat berupa sebagai berikut:

- Efisiensi propeller akan menurun.
- Akan memberikan kecepatan yang menurun karena suatu sistem propulsor terganggu.
- Terjadinya kerusakan pada bahan propeller atau Erosi bahan.
- Erosi yang terjadi dibedakan menjadi 2 yaitu: keausan atau pengasaran dan burrik (pitting).
- Menyebabkan getaran
- Menyebabkan kebisingan



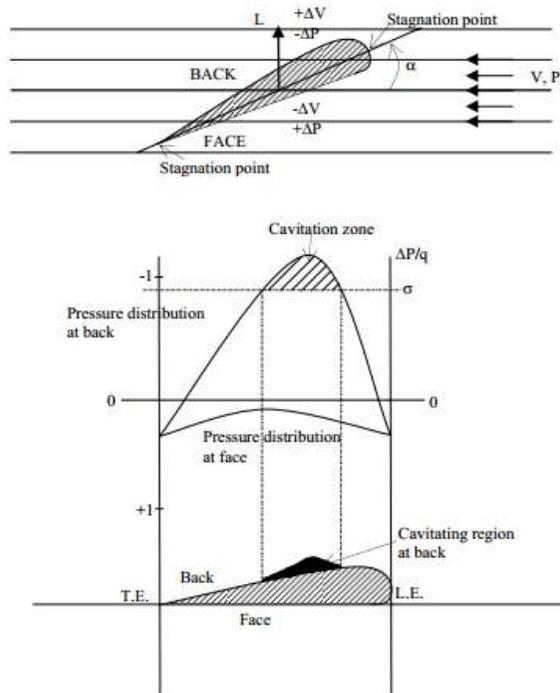
Gambar 2. 21 Akibat Kavitasi

Cukup banyak yang dilakukan untuk menahan akibat dari erosi, dengan percobaan kavitasi, tubrukan atau lainnya. Pada pengujian erosi pada benda uji dalam fluida dapat ditimbulkan dengan menggetarkan benda tersebut, misalnya diajukan dalam “Standard Method of Vibratory Cavitation Erosion Test”. Pengujian demikian dapat dilakukan di tempat yang mempunyai fasilitas untuk foil yang berputar, di tempat yang mempunyai apparatus untuk diskus yang berputar (Dashnaw dan kawan-kawan, 1980), atau di terusan aliran air dengan sirkulasi tertutup (Hansson dan Morch, 1977). Bagian pengujian dari fasilitas ini mempunyai alat pemegang benda uji (specimen holder). Di alat ini benda akan diuji disisipkan demikian rupa hingga merupakan bagian dari dinding induk (central wall) yang mulus. Gambar 10 menunjukkan sebuah alat pemegang benda uji. Alliran melewati ke dua sisi dinding tersebut secara simetris. Sebuah lubang di dinding tersebut akan menyebabkan rongga kavitasi di dekat benda di dalam aliran menuju ke benda (upstream). Dengan mengatur tekanan dalam tekanan kempis dan kecepatan aliran maka rongga tersebut akan mengempis di dekat permukaan benda uji. Salah satu cara untuk mengkalibrasi berbagai kerusakan akibat kavitasi adalah dengan memakai

aloi nikel yang kekuatan dan kekerasannya ditentukan lebih dulu sebagai bahan standar. Secara umum dapat diperhatikan bahwa semakin keras, kuat, dan kaku (modulus besar) material itu semakin tahan terhadap kerusakan erosi.

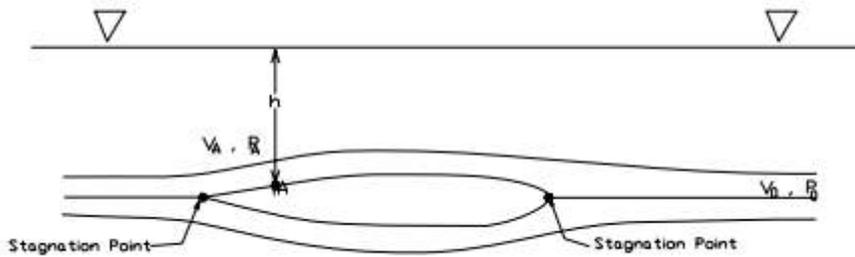
2.5.4 Aliran Kavitasasi

Banyak hal yang bisa menyebabkan kavitasasi. Contoh pada kehidupan sehari-hari adalah air yang mendidih. Dalam air yang mendidih tekanan uap akan naik karena kenaikan suhu air. Dalam hidrodinamika kavitasasi umumnya disebabkan oleh aliran. Aliran kavitasasi demikian merupakan aliran dua fase yang terdiri dari cairan dan uap air, dan transisi fase disebabkan karena perubahan tekanan. Gambar 2.22 menunjukkan mekanisme terjadinya kavitasasi. Sebuah penampang daun ataupun foil udara diletakkan pada sudut tertentu dalam aliran 2-dimensi tanpa kekentalan.



Gambar 2. 22 Tekanan dan aliran udara pada foil

Yang dimana pada gambar 2.23 tekanan pada titik A tidak boleh melebihi, apabila melebihi akan terjadi kavitasasi.



Gambar 2. 23 Perbedaan Tekanan

Yaitu menggunakan rumus:

$$p_a \leq p_v$$

Atau

$$\frac{p_0 - p_a}{\frac{1}{2} \rho v^2} \geq \frac{p_0 - p_v}{\frac{1}{2} \rho v^2} \quad (19)$$

Dimana p_0 dan V , tekanan dan kecepatan fluida. Sedangkan p_a dan V_a tekanan dan kecepatan pada posisi di titik A. Untuk mengetahui tekanan di dalam air sehingga menggunakan Bernoulli Equation:

$$p_0 + \frac{1}{2} \rho V^2 = p_a + \frac{1}{2} \rho V_a^2$$

atau

$$p_0 - p_a = \frac{1}{2} \rho V_a^2 - \frac{1}{2} \rho V^2 \quad (20)$$

Mensubstitusi antara persamaan 1 dan 2 di hasilkan:

$$\frac{p_0 - p_a}{\frac{1}{2} \rho v^2} = \frac{\frac{1}{2} \rho V_a^2 - \frac{1}{2} \rho V^2}{\frac{1}{2} \rho v^2}$$

atau

$$\frac{\Delta p}{q} \geq \frac{p_0 - p_v}{\frac{1}{2} \rho v^2}$$

Dimana σ adalah cavitation number dan C_p adalah pressure coefficient, sebagai berikut

$$\sigma = \frac{p_0 - p_v}{\frac{1}{2} \rho v^2}$$

dan

$$C_p = \frac{\Delta p}{q}$$

Dimana p_0 adalah tekanan kedalaman di tambah dengan tekanan atmosferic yaitu:

$$\sigma = \frac{p_{atm} + p_h - p_v}{\frac{1}{2} \rho v^2}$$

dengan $p_h = \rho g h$

Dikarenakan σ cavitation number adalah konstan dengan adanya perubahan tiap C_p , maka kavitasi akan terjadi dengan persamaan sebagai berikut:

Kavitasi akan terjadi jika

$$\sigma \leq \frac{\Delta p}{q}$$

Kavitasi tidak akan terjadi jika dengan persamaan sebagai berikut:

$$\sigma > \frac{\Delta p}{q}$$

2.5.5 Kavitasi model

(Prihandanu, 2018) Menurut Lucian Hanimann (2016:3) Empat model kavitasi yang berbeda dipertimbangkan. Model Kunz, Merkle dan Schnerr-Sauer sudah tersedia di OpenFOAM. Model Zwart kemudian ditambahkan karena merupakan salah satu model standar untuk kode komersial. Tetapi yang digunakan pada software ada 3 yaitu Kunz, Merkle dan Schnerr-Sauer.

A. Kunz

Dimana pada pemodelan kavitasi ini yaitu sheet kavitasi. Perubahan dari vapor ke liquid adalah Re , dan Rc adalah perubahan liquid ke vapor:

$$\begin{aligned} Re &= \frac{C_{dest} \rho v \alpha l \min [0, p - p_{Sat}]}{\rho l \frac{U_{\infty}^2}{2} t_{\infty}} \\ Rc &= \frac{C_{prod} \rho v \alpha l^2 (1 - \alpha l)}{t_{\infty}} \end{aligned} \quad (21)$$

Dimana :

$$C_{dest} = 1000 \quad C_{prod} = 1000$$

U_{∞} adalah kecepatan free stream and $\rho l \frac{U_{\infty}^2}{2} t_{\infty}$ waktu free stream biasanya didefinisikan sebagai d/U_{∞} dengan d sebagai sekala panjang ada *body diameter*.

B. Merkle

Menurut CL Merkle (2006) dimana model ini digunakan:

$$Re = kv \frac{\rho v \alpha l}{t_{\infty}} \underbrace{\min \left[1, \max \left(\frac{pSat - p}{kp pv}, 0 \right) \right]}_f \quad (22)$$

$$Rc = kl \frac{\rho v \alpha v}{t_{\infty}} \underbrace{\min \left[1, \max \left(\frac{p - pSat}{kp pv}, 0 \right) \right]}_f$$

C. Schnerr-Sauer-Yuan

Menurut Jürgen Sauer (2001:383-394) dimana model ini digunakan untuk bubbles:

$$Re = \frac{\rho v \rho l}{\rho} \alpha v (1 - \alpha v) \frac{3}{Rb} \sqrt{\frac{2 pSat - p}{3 \rho l}} \quad (23)$$

$$Rc = \frac{\rho v \rho l}{\rho} \alpha v (1 - \alpha v) \frac{3}{Rb} \sqrt{\frac{2 p - pSat}{3 \rho l}}$$

Dengan Rb sebagai radius gelembung:

$$Rb = \left(\frac{\alpha v}{1 - \alpha v} \frac{3}{4\pi n} \right)^{1/3} \quad (24)$$

2.6 Computational Fluid Dinamic

(Prihandanu, 2018) Computational Fluid Dynamic (CFD) adalah metode analisa numerik yang digunakan untuk menyelesaikan masalah dinamika fluida. Sejak kemajuan besar dalam hal kinerja komputer, metode Computational Fluid Dynamic (CFD) digunakan untuk memecahkan persamaan Reynolds Averaged Navier-Stokes (RANS) yang telah diterapkan untuk berbagai jenis propeller Subhas (2012).

Sejarah CFD berawal pada tahun 60-an dan mulai terkenal pada tahun 70-an, awalnya pemakaian konsep CFD hanya digunakan untuk aliran fluida dan reaksi kimia, namun seiring dengan berkembangnya industri di tahun 90-an membuat CFD makin dibutuhkan pada berbagai aplikasi lain. Contohnya sekarang ini banyak sekali paket-paket software CAD menyertakan konsep CFD yang dipakai untuk menganalisa stress

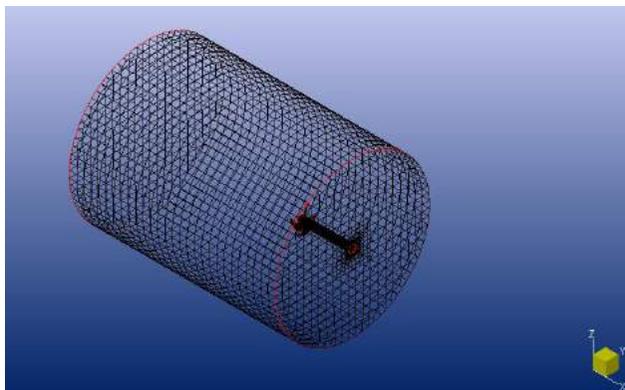
yang terjadi pada design yang dibuat. Pemakaian CFD secara umum dipakai untuk memprediksi:

- a. Aliran dan panas.
- b. Transfer massa.
- c. Perubahan fasa seperti pada proses melting, pengembunan dan pendidihan.
- d. Reaksi kimia seperti pembakaran.
- e. Gerakan mekanis seperti piston dan fan.
- f. Tegangan dan tumpuan pada benda solid.
- g. Gelombang electromagnet

Ada beberapa proses yang dilakukan dalam metode Computational Fluid Dynamic (CFD), Adapun proses dalam Computational Fluid Dynamic (CFD) ada 3 bagian, yaitu:

2.6.1 Pre Processor

PreProcessor merupakan tahapan awal dalam Computational Fluid Dynamic (CFD) yang merupakan tahapan input data yang meliputi penentuan domain dan boundary condition. Pada tahapan ini juga dilakukan meshing, dimana benda yang dianalisa dibagi dalam jumlah grid tertentu.



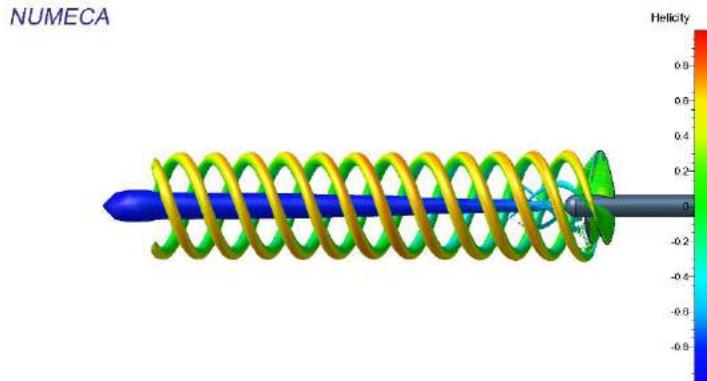
Gambar 2. 24 Penentuan Boundary Condition Meshing

2.6.2 Processor

Tahap selanjutnya adalah tahap processor, dimana pada tahap ini dilakukan proses perhitungan data yang telah dimasukkan menggunakan persamaan terkait secara iterative hingga hasil yang didapatkan bisa mencapai nilai error terkecil.

2.6.3 Post Processor

Tahap terakhir adalah tahap post processor, hasil dari perhitungan pada tahap processor akan ditampilkan dalam gambar, grafik maupun animasi.



Gambar 2. 25 Hasil helicity pada Numecca CFD

Adapun manfaat dari metode Computational Fluid Dynamic (CFD) dibanding dengan metode-metode yang lain untuk menyelesaikan permasalahan permodelan Fluid Dynamic adalah sebagai berikut:

a. Pengetahuan Mendalam

Dengan analisa CFD kita akan mudah mengetahui dan melihat data-data yang dibutuhkan untuk membuat produk yang efisien, parameter-parameter yang berpengaruh dan fenomena-fenomena fisika yang terjadi bahkan bisa dibilang jauh lebih mendalam dibandingkan dengan prototype.

b. Prediksi Menyeluruh

Dengan simulasi CFD kita dapat mengubah parameter yang ada melihat hasilnya, mengubahnya lagi hingga didapat kondisi yang diinginkan sebelum dibuatnya protipe fisik. Jadi, dalam waktu yang sama kita dapat melakukan test dari model CFD yang kita buat, melihat hasilnya, dan mengubah variabel-variabel yang ada hingga didapatkan hasil yang optimal dan dalam waktu yang singkat.

c. Effisiensi

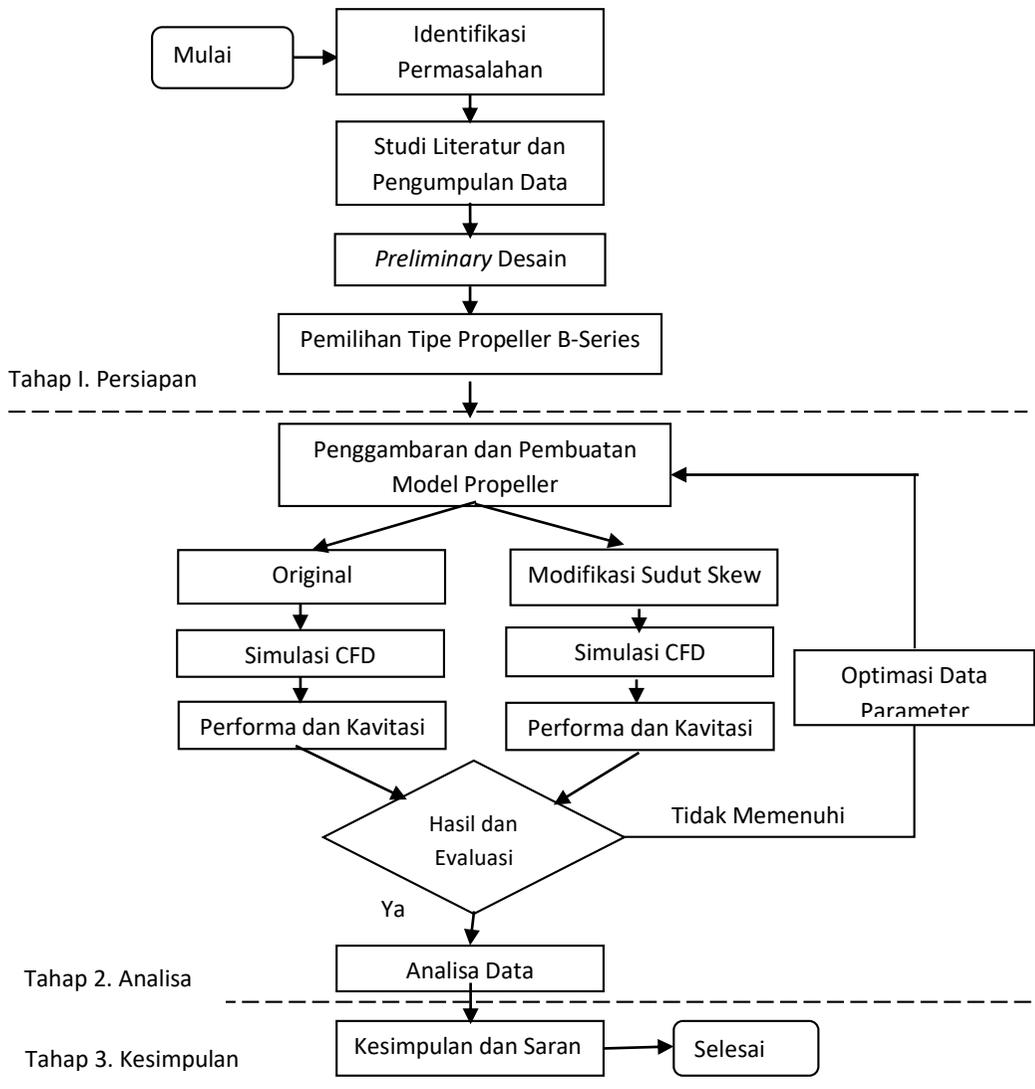
CFD adalah tools untuk mempersingkat siklus design dan pengembangan dari suatu produk. Sehingga didapatkan design cycle yang singkat, biaya yang murah dan waktu yang singkat yang akan berhubungan dengan effisiensi yang juga akan meningkat

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III - METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian

Penyelesaian masalah pada penelitian ini maka digunakan metode *Computational Fluid Dynamics*. Proses pengerjaan dapat dilihat pada *flowchart* di bawah. Penelitian dibagi dalam 3 tahapan utama yaitu persiapan, analisa, dan kesimpulan yang masing-masing tahapan mempunyai bagian-bagian yang dapat dilihat dibawah:



Gambar 3. 1 Rencana Alur Penelitian

Berikut merupakan penjelasan dari diagram di atas:

1. Studi Literatur dan Pengumpulan Data

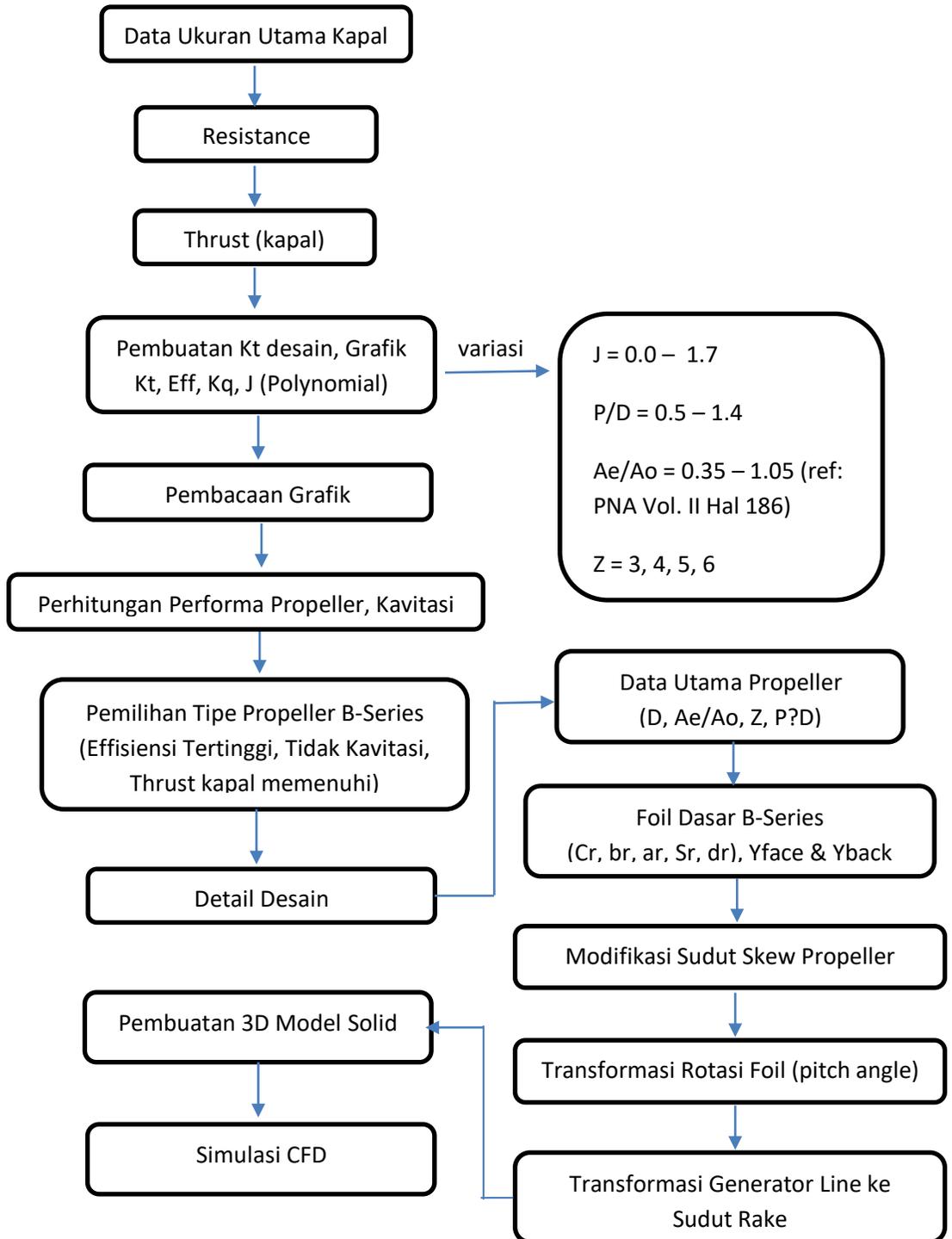
Studi literatur dilakukan dengan pengumpulan referensi mengenai materi yang berhubungan dengan sudut skew propeller serta data yang berhubungan dengan materi pada tugas akhir. Literatur – literatur tersebut didapatkan dari text book, journal, artikel, internet, dan lain-lain. Selain referensi yang dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah, juga dilakukan penentuan ukuran utama kapal dari kapal yang telah diuji.

2. *Preliminary* Desain

Preliminary Desain dilakukan untuk mengetahui tipe propeller B-Series yang akan digunakan untuk permodelan dan pengujian. Metode yang digunakan adalah dengan metode polinomial. Dengan metode ini dapat membuat grafik dan mengetahui performa dari suatu propeller yaitu: koefisien gaya dorong (KT), torsi (KQ), dan juga efisiensi dari berbagai variasi parameter propeller. Parameter propeller B-Series yang divariasikan dalam tahap ini adalah:

- Daun : 3, 4, 5, dan 6
- P/D : 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0, 1.1, 1.15, 1.2, 1.25, dan 1.4
- Ae/Ao : Sesuai buku Principle of Naval Architecture Volume II Halaman 186
- J : 0.00 – 1.70 dengan interval 0.05

Dalam tahap ini juga dilakukan perhitungan untuk memprediksi kavitasi dengan metode Burril Diagram. Berikut merupakan flowchart tahap preliminary desain:



Gambar 3. 2 Flowchart Preliminary Desain

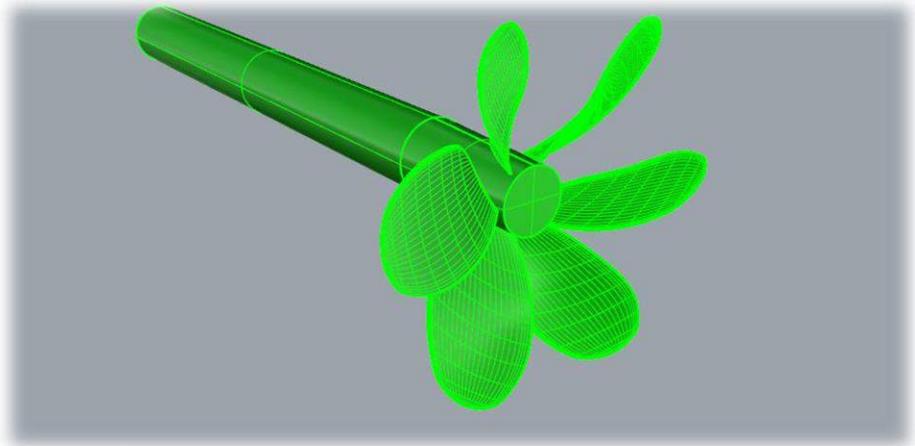
3. Pemilihan Tipe Propeller B-Series

Tipe Propeller B-Series yang akan dipilih adalah berdasarkan efisiensi yang maksimum namun tidak mengalami kavitasi serta gaya dorong yang dihasilkan harus lebih besar dari gaya dorong dari kapal.

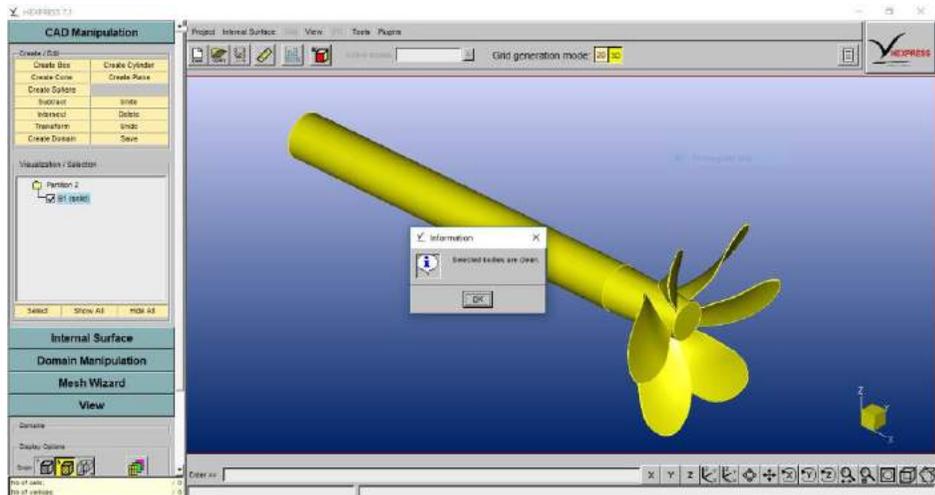
4. Penggambaran dan Pembuatan Model Variasi Propeller

Dalam penggambaran propeller B-Series terdapat nilai-nilai dan konstanta dari buku Wageningen B-Series Propeller (Kuiper. 1992). Nilai-nilai tersebut nantinya akan menentukan titik-titik koordinat yang jika dihubungkan dapat menjadi kurva sehingga menjadikan sebuah foil pada tiap bagian propeller.

Pembuatan model propeller harus berbentuk solid agar nantinya dapat disimulasikan menggunakan *computational fluid dynamics* yaitu dengan software numeca. Penggambaran koordinat ini dapat dilakukan dengan menggunakan software CAD atau pada propcad. Selanjutnya pembuatan surface pada software rhino dan menyolidkan daun propeller tersebut dengan disimpan dalam bentuk parasolid (*x_t) menggunakan software rhino atau solidwork yang selanjutnya dicek pada numeca. Model variasi yang dibuat pada Tugas Akhir ini adalah dengan memodifikasi sudut skew propeller menjadi 0° , 14° , 30° , 45° , dan 60° .

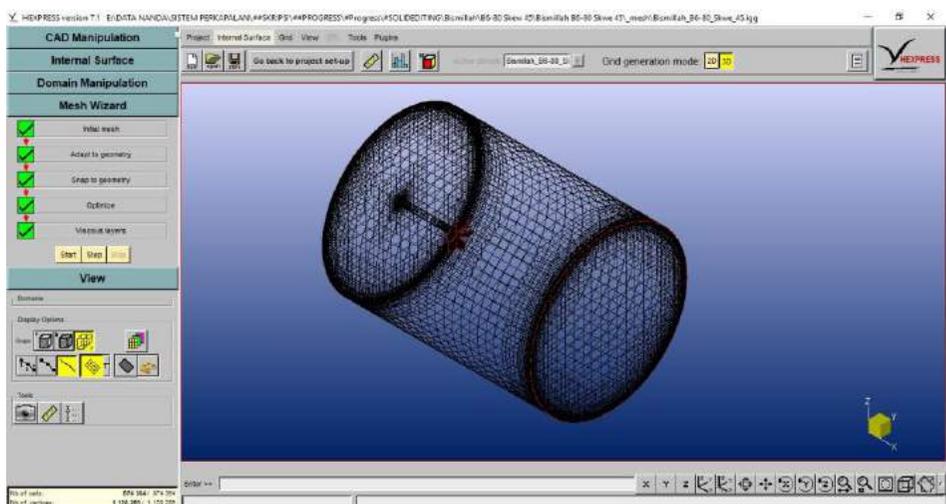


Gambar 3. 3 Penggambaran Surface Propeller



Gambar 3. 4 Pengecekan Bentuk Solid Hexpress Numeca

Salah satu syarat mutlak agar suatu bentuk dapat disimulasikan pada CFD adalah file bentuk yang solid dan dapat dicek pada software hexpress numeca. Jika Software sudah menginformasikan “selected bodies are clean” maka file sudah siap dan dapat dilakukan tahap meshing. Pada langkah meshing terdapat 5 tahap yang harus berhasil dilewati agar bisa dibuat domain (batas wilayah simulasi) disimulasikan atau di *running*. Ukuran standart domain oleh propeller dengan bentuk silinder adalah panjang $8D$, radius $6D$, dan $3D$ untuk letak propeller dari inlet. Selanjutnya ada 5 tahapan meshing, yaitu initial mesh, adapt to geometry, snap to geometry, optimize dan viscous layer untuk mengoptimasi jumlah cell terhadap bentuk yang akan disimulasi.



Gambar 3. 5 Tahap Meshing

Selain digunakan untuk mengecek kesalahan geometri yang tidak bisa di mesh, tahap manipulasi meshing ini dilakukan untuk menyesuaikan cell yang akan dibuat sesuai dengan kemampuan komputer yang digunakan.

5. Simulasi CFD

Pada tahap ini setelah dilakukan proses pemodelan skew original dengan variasi sudut skew kemudian dilakukan simulasi model dengan menggunakan software Numeca Fine Marine. Proses Simulasi CFD menggunakan Cfx solver untuk mengetahui hasilnya.

6. Analisa Data

Setelah mendapatkan semua data yang dibutuhkan kemudian dilakukan analisa untuk menjawab hal-hal yang berkaitan dengan penelitian atau dalam tugas akhir. Dari proses analisa data didapatkan hasil analisa atau perhitungan dari data-data yang telah didapatkan pada proses pemodelan. Sehingga setelah melakukan proses analisa, dapat ditarik kesimpulan dari hasil perhitungan dan simulasi yang telah didapat.

7. Verifikasi Hasil dan Evaluasi

Setelah didapatkan dari hasil perhitungan matematik dan dari hasil software CFD, kemudian dilakukan verifikasi data hasil tersebut. Jika hasil yang didapatkan logis, dapat dilanjutkan ke tahap selanjutnya, begitu juga dengan sebaliknya.

8. Kesimpulan dan Saran

Pada tahap ini adalah mengambil kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan. Kesimpulan ini berisi jawaban dari permasalahan yang ada dalam penelitian. Sehingga memberikan hasil yang jelas dalam penelitian. Adapun saran yang dapat dicantumkan pada penelitian, apabila terdapat kekurangan yang terdapat dalam penelitian tersebut.

3.2 Jadwal Pelaksanaan

No	Rencana kegiatan	Bulan I				Bulan II				Bulan III				Bulan IV				Bulan V			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Perumusan masalah																				
2	Pengumpulan dan verifikasi data																				
3	studi literatur																				
4	Penerapan Desain																				
	Modeling Propeller																				
	Input Data dan Variasi																				
	Running CFD																				
5	Melakukan perbandingan hasil																				
6	Pengerjaan laporan																				

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV – ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dibahas mengenai perhitungan yang dilakukan pada tahap preliminary desain dan analisa hasil simulasi CFD. Perhitungan pada preliminary desain nantinya akan menentukan propeller yang akan digunakan sebagai model. Setelah penentuan ukuran utama propeller didapatkan, selanjutnya akan dibuat model dan divariasi skew sesuai yang dijelaskan pada bab sebelumnya. Semua model akan dilakukan simulasi CFD menggunakan software numeca fine marine. Hasil simulasi yang akan dicari yaitu hasil performa berupa *thrust*, *torque*, efisiensi dan kavitasi. Pada tahap akhir akan dinalisa bagaimana hubungan antara performa dan kavitasi yang dihasilkan karena pengaruh variasi sudut skew pada propeller B-Series.

4.1 Preliminary Desain

Dalam tahapan ini terdapat beberapa perhitungan, yaitu: tahanan kapal, pemilihan tipe propeller B-Series dengan membuat grafik menggunakan metode polynomial, dan perhitungan prediksi kavitasi dengan burril diagram. Pada penelitian ini menggunakan kapal uji Moeri Container Ship (KCS). Berikut data ukuran utama kapal uji yang digunakan pada penelitian ini.

$$\begin{aligned}L_{WL} &= 232.5 \text{ m} \\L_{PP} &= 230.0 \text{ m} \\B &= 32.2 \text{ m} \\D &= 19.0 \text{ m} \\T &= 10.8 \text{ m} \\V_{sea} &= 24.0 \text{ knots} = 12.35 \text{ m/s} \\C_b &= 0.651 \text{ (block coefficient)} \\C_m &= 0.985 \text{ (midship coefficient)} \\r &= 1025 \text{ kg/m}^3 \\&= 1.025 \text{ ton/m}^3 \\LCB &= -1.48 \text{ m} \\g &= 9.81 \text{ m/s}^2 \\Fn &= 0.26\end{aligned}$$

(Sumber: http://www.simman2008.dk/KCS/kcs_geometry.htm)

4.1.1 Perhitungan Tahanan Kapal

Perhitungan tahanan total kapal ini menggunakan Metode Holtrop yang diolah pada software Maxsurf Resistance. Data yang digunakan untuk pengolahan berbentuk surface (.igs) yang didapat dari sumber. Berikut merupakan hasil dari resistance dari kapal tiap kecepatan:

	Speed (kn)	Froude No. LWL	Froude No. Vol.	Holtrop Resist. (kN)
1	0,000	0,000	0,000	--
2	0,750	0,008	0,025	1,6
3	1,500	0,016	0,049	5,9
4	2,250	0,024	0,074	12,7
5	3,000	0,032	0,098	21,9
6	3,750	0,040	0,123	33,4
7	4,500	0,048	0,147	47,1
8	5,250	0,057	0,172	63,0
9	6,000	0,065	0,196	81,1
10	6,750	0,073	0,221	101,3
11	7,500	0,081	0,245	123,7
12	8,250	0,089	0,270	148,2
13	9,000	0,097	0,294	174,8
14	9,750	0,105	0,319	203,5
15	10,500	0,113	0,344	234,5
16	11,250	0,121	0,368	267,8
17	12,000	0,129	0,393	303,4
18	12,750	0,137	0,417	341,6
19	13,500	0,145	0,442	382,4
20	14,250	0,154	0,466	426,1
21	15,000	0,162	0,491	472,8
22	15,750	0,170	0,515	522,7
23	16,500	0,178	0,540	576,1
24	17,250	0,186	0,564	633,1
25	18,000	0,194	0,589	693,9
26	18,750	0,202	0,613	758,7
27	19,500	0,210	0,638	827,7
28	20,250	0,218	0,663	901,1
29	21,000	0,226	0,687	979,2
30	21,750	0,234	0,712	1061,9
31	22,500	0,242	0,736	1148,9
32	23,250	0,251	0,761	1239,5
33	24,000	0,259	0,785	1333,5

Gambar 4. 1 Hasil Resistance Kapal

Dari data diatas dapat diketahui resistance pada kecepatan dinas kapal yaitu 24 knot adalah sebesar 1333,5 kN.

4.1.2 Pembuatan Kurva K_T Desain, K_T , K_Q , dan Efisiensi Propeller Menggunakan Metode Polinomial

Pembuatan kurva K_T - K_Q - J pada A_E/A_O tertentu terdiri dari beberapa kurva K_T dan efisiensi *propeller* yang jumlahnya tergantung pada banyaknya variasi P/D , dan satu kurva $K_{T \text{ desain}}$. Dimana efisiensi dan K_T sebagai sumbu ordinat dan J sebagai sumbu absis. Berikut langkah-langkah perhitungan dan yang harus dilakukan sehingga menjadi kurva.

A. Perhitungan advance coefficient (J)

$$J = \frac{V_a}{n \cdot D}$$

Maka didapatkan rumus putaran *propeller* (n) = $V_a / J \cdot D$

B. Perhitungan Kt Desain

$$\text{Rumus : } K_T = \frac{T}{\rho \cdot n^2 \cdot D^4} \quad [\text{Nm}]$$

$$K_Q = \frac{Q}{\rho \cdot n^2 \cdot D^5} \quad [\text{Nm}]$$

Dengan mensubstitusikan rumus n maka didapatkan :

$$K_T = \frac{T \cdot J^2}{\rho \cdot V_a^2 \cdot D^2}$$

Kurva $K_{T \text{ desain}}$ ini berbeda – beda tergantung pada variable diameter *propeller*.

Berikut ini adalah data perhitungan untuk $K_{T \text{ desain}}$:

$$R_T = 1333.5 \text{ kN}$$

$$t = k \cdot w = 0.182 \quad (\text{ref: PNA vol. II, hal. 148})$$

nilai k antara 0,7-0,9, diambil 0,7

nilai w ditentukan dari grafik taylor = 0.26

$$\begin{aligned} T &= R_T / (1-t) \\ &= 1333.5 / (1-0.182) \\ &= 1630.196 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\rho = 1025 \text{ kg/m}^3$$

$$V_a = (1-w) V_s = 8.944 \text{ m/s}$$

$$D = 0,7 T = 7.56$$

Dibawah ini merupakan perhitungan dari $K_{T \text{ desain}}$ yang sesuai dengan resistance kapal yang digunakan beserta variasi advance coefficient (J) dari 0.00 sampai 1.70 dengan interval 0.05 yang dilihat dalam tabel:

Tabel 4. 1 Kt Desain Moeri Container Ship (KCS)

J	Kt Desain
0.00	0.0000000
0.05	0.0008696
0.10	0.0034783
0.15	0.0078262
0.20	0.0139133
0.25	0.0217396
0.30	0.0313050
0.35	0.0426096
0.40	0.0556533
0.45	0.0704362
0.50	0.0869583
0.55	0.1052196
0.60	0.1252200
0.65	0.1469595
0.70	0.1704383
0.75	0.1956562
0.80	0.2226133
0.85	0.2513095
0.90	0.2817449
0.95	0.3139195
1.00	0.3478332
1.05	0.3834861
1.10	0.4208782
1.15	0.4600095
1.20	0.5008799
1.25	0.5434894
1.30	0.5878382
1.35	0.6339261
1.40	0.6817531
1.45	0.7313194
1.50	0.7826248

1.55	0.8356693
1.60	0.8904531
1.65	0.9469760
1.70	1.0052381

C. Perhitungan ΔK_T ; ΔK_Q

Pada Perhitungan ini memvariasikan 4 daun propeller B-Series yaitu daun 3, 4, 5, dan 6. Perhitungan ini juga diklasifikasikan berdasarkan harga A_E/A_O dan P/D . Kurva K_T dan Effisiensi merupakan bentuk variasi dari harga A_E/A_O dan P/D . Maka pada satu variasi harga A_E/A_O terdapat 12 variasi harga P/D . Berikut ini adalah Polynomial Wageningen B-Series yang digunakan untuk mengetahui harga ΔK_T dan ΔK_Q .

$$K_T = \sum A_{abcd} \cdot J^a \cdot \left(\frac{P}{D}\right)^b \cdot \left(\frac{A_E}{A_O}\right)^c \cdot Z^d$$

Tabel 4. 2 Tabel Eksponensial Kt Polynomial

No.	$K_T = \sum A_{abcd} \cdot J^a \cdot (P/D)^b \cdot (A_E / A_O)^c \cdot Z^d$				
	A_{abcd}	a	b	c	d
		J	P/D	A_E / A_O	Z
1	0.00880496	0	0	0	0
2	-0.204554	1	0	0	0
3	0.166351	0	1	0	0
4	0.158114	0	2	0	0
5	-0.147581	2	0	1	0
6	-0.481497	1	1	1	0
7	0.415437	0	2	1	0
8	0.0144043	0	0	0	1
9	-0.0530054	2	0	0	1
10	0.0143481	0	1	0	1
11	0.0606826	1	1	0	1
12	-0.0125894	0	0	1	1
13	0.0109689	1	0	1	1
14	-0.133698	0	3	0	0
15	0.00638407	0	6	0	0
16	-0.00132718	2	6	0	0

17	0.168496	3	0	1	0
18	-0.0507214	0	0	2	0
19	0.0854559	2	0	2	0
20	-0.0504475	3	0	2	0
21	0.010465	1	6	2	0
22	-0.00648272	2	6	2	0
23	-0.00841728	0	3	0	1
24	0.0168424	1	3	0	1
25	-0.00102296	3	3	0	1
26	-0.0317791	0	3	1	1
27	0.018604	1	0	2	1
28	-0.00410798	0	2	2	1
29	-0.000606848	0	0	0	2
30	-0.0049819	1	0	0	2
31	0.0025983	2	0	0	2
32	-0.000560528	3	0	0	2
33	-0.00163652	1	2	0	2
34	-0.000328787	1	6	0	2
35	0.000116502	2	6	0	2
36	0.000690904	0	0	1	2
37	0.00421749	0	3	1	2
38	0.0000565229	3	6	1	2
39	-0.00146564	0	3	2	2

Nilai ΔK_T merupakan jumlah total eksponensial rumus K_T pada input yang sama.

$$K_Q = \sum B_{abcd} \cdot J^a \cdot \left(\frac{P}{D}\right)^b \cdot \left(\frac{A_E}{A_O}\right)^c \cdot Z^d$$

Tabel 4. 3 Tabel Eksponensial Kq Polynomial

No.	$K_Q = \sum B_{abcd} \cdot J^a \cdot (P/D)^b \cdot (A_E / A_O)^c \cdot Z^d$				
	Babcd	a	b	c	d
		J	P/D	A_E / A_O	Z
1	0.00379368	0	0	0	0
2	0.00886523	2	0	0	0
3	-0.032241	1	1	0	0

4	0.00344778	0	2	0	0
5	-0.0408811	0	1	1	0
6	-0.108009	1	1	1	0
7	-0.0885381	2	1	1	0
8	0.188561	0	2	1	0
9	-0.00370871	1	0	0	1
10	0.00513696	0	1	0	1
11	0.0209449	1	1	0	1
12	0.00474319	2	1	0	1
13	-0.00723408	2	0	1	1
14	0.00438388	1	1	1	1
15	-0.0269403	0	2	1	1
16	0.0558082	3	0	1	0
17	0.0161886	0	3	1	0
18	0.00318086	1	3	1	0
19	0.015896	0	0	2	0
20	0.0471729	1	0	2	0
21	0.0196283	3	0	2	0
22	-0.0502782	0	1	2	0
23	-0.030055	3	1	2	0
24	0.0417122	2	2	2	0
25	-0.0397722	0	3	2	0
26	-0.00350024	0	6	2	0
27	-0.0106854	3	0	0	1
28	0.00110903	3	3	0	1
29	-0.000313912	0	6	0	1
30	0.0035985	3	0	1	1
31	-0.00142121	0	6	1	1
32	-0.00383637	1	0	2	1
33	0.0126803	0	2	2	1
34	-0.00318278	2	3	2	1
35	0.00334268	0	6	2	1
36	-0.00183491	1	1	0	2
37	0.000112451	3	2	0	2
38	-0.0000297228	3	6	0	2
39	0.000269551	1	0	1	2
40	0.00083265	2	0	1	2

41	0.00155334	0	2	1	2
42	0.000302683	0	6	1	2
43	-0.0001843	0	0	2	2
44	-0.000425399	0	3	2	2
45	0.0000869243	3	3	2	2
46	-0.0004659	0	6	2	2
47	0.0000554194	1	6	2	2

Nilai ΔK_Q merupakan jumlah total eksponensial rumus K_T pada input yang sama.

D. Efisiensi propeller

$$\eta = K_T \cdot J / (2\pi \cdot K_Q)$$

$$K_Q = K_T \cdot J / (2\pi \cdot \eta)$$

Harga efisiensi dihitung pada setiap harga koefisien of advance (J) pada masing – masing variasi A_E/A_O dan P/D.

E. Hasil Perhitungan K_T ; K_Q , dan Efisiensi

Berikut salah satu rekapan hasil performa K_T ; K_Q , dan Efisiensi blade 6 propeller B-Series pada A_e/A_o 50 di berbagai variasi P/D.

Tabel 4. 4 Contoh Hasil Perhitungan K_T ; K_Q , dan Efisiensi blade 6 - A_e/A_o 0.50

P/D= 0.50 Variasi= 1				P/D= 0.60 Variasi= 2			
J	Kt 1	10 Kq	Eff 1	J	Kt 2	10 Kq	Eff 2
0	0.224507	0.202654	0	0	0.269783	0.265342	0
0.05	0.210639	0.193584	0.086588	0.05	0.256652	0.255657	0.079887
0.1	0.195423	0.18416	0.168889	0.1	0.242175	0.245577	0.15695
0.15	0.1789	0.174214	0.245153	0.15	0.226389	0.234936	0.230047
0.2	0.161105	0.163578	0.313499	0.2	0.209331	0.22357	0.298038
0.25	0.142079	0.152084	0.371712	0.25	0.19104	0.211313	0.359715
0.3	0.121858	0.139566	0.416886	0.3	0.171552	0.198	0.413688
0.35	0.100481	0.125855	0.444735	0.35	0.150906	0.183467	0.458182
0.4	0.077986	0.110784	0.448142	0.4	0.129139	0.167548	0.490682
0.45	0.05441	0.094186	0.413735	0.45	0.106289	0.150078	0.507229
0.5	0.029792	0.075893	0.312381	0.5	0.082393	0.130893	0.500917
0.55	0.00417	0.055737	0.065483	0.55	0.057489	0.109827	0.458208
0.6	-0.02242	0.033552	-0.63807	0.6	0.031615	0.086715	0.348156
0.65	-0.04994	0.009168	-5.63446	0.65	0.004809	0.061393	0.081027
0.7	-0.07834	-0.01758	4.96466	0.7	-0.02289	0.033695	-0.75693
0.75	-0.1076	-0.04686	2.74083	0.75	-0.05145	0.003457	-17.7668

0.8	-0.13767	-0.07884	2.223307	0.8	-0.08083	-0.02949	3.490255
0.85	-0.16852	-0.11369	2.005247	0.85	-0.11099	-0.0653	2.299364
0.9	-0.20011	-0.15158	1.891034	0.9	-0.1419	-0.10415	1.951514
0.95	-0.2324	-0.19266	1.823786	0.95	-0.17351	-0.1462	1.794378
1	-0.26534	-0.23712	1.78099	1	-0.20579	-0.19162	1.709268
1.05	-0.29892	-0.28512	1.752022	1.05	-0.23871	-0.24057	1.658201
1.1	-0.33308	-0.33682	1.731262	1.1	-0.27221	-0.29321	1.62534
1.15	-0.36778	-0.39239	1.715501	1.15	-0.30628	-0.34971	1.602953
1.2	-0.403	-0.452	1.702796	1.2	-0.34086	-0.41024	1.586854
1.25	-0.43869	-0.51583	1.691926	1.25	-0.37592	-0.47496	1.574602
1.3	-0.47481	-0.58402	1.682099	1.3	-0.41143	-0.54404	1.5647
1.35	-0.51133	-0.65676	1.672794	1.35	-0.44735	-0.61764	1.556195
1.4	-0.5482	-0.73422	1.663661	1.4	-0.48363	-0.69592	1.54846
1.45	-0.5854	-0.81654	1.654467	1.45	-0.52024	-0.77905	1.541078
1.5	-0.62287	-0.90392	1.645057	1.5	-0.55714	-0.8672	1.533766
1.55	-0.66059	-0.99651	1.635329	1.55	-0.5943	-0.96053	1.526334
1.6	-0.69852	-1.09448	1.625219	1.6	-0.63168	-1.0592	1.518652
1.65	-0.73661	-1.19799	1.614688	1.65	-0.66924	-1.16339	1.510637
1.7	-0.77484	-1.30723	1.603716	1.7	-0.70694	-1.27325	1.502232

P/D= 0.70 Variasi= 3 P/D= 0.80 Variasi= 4

J	Kt 3	10 Kq	Eff 3	J	Kt 4	10 Kq	Eff 4
0	0.314702	0.338463	0	0	0.358177	0.421424	0
0.05	0.302414	0.328203	0.073325	0.05	0.346852	0.410641	0.067216
0.1	0.28878	0.317511	0.144753	0.1	0.33418	0.399392	0.133169
0.15	0.273836	0.306226	0.213481	0.15	0.320199	0.387523	0.197257
0.2	0.257619	0.294188	0.278742	0.2	0.304943	0.374882	0.258925
0.25	0.240167	0.281238	0.339781	0.25	0.28845	0.361316	0.317647
0.3	0.221517	0.267214	0.395811	0.3	0.270757	0.346671	0.37291
0.35	0.201705	0.251957	0.445941	0.35	0.251899	0.330795	0.424186
0.4	0.180769	0.235307	0.489068	0.4	0.231914	0.313534	0.470892
0.45	0.158746	0.217103	0.523685	0.45	0.210836	0.294736	0.512323
0.5	0.135673	0.197185	0.547533	0.5	0.188704	0.274248	0.547554
0.55	0.111588	0.175394	0.55691	0.55	0.165553	0.251917	0.575258
0.6	0.086526	0.151568	0.545146	0.6	0.14142	0.227589	0.593377
0.65	0.060526	0.125548	0.498735	0.65	0.116342	0.201113	0.598452

0.7	0.033625	0.097173	0.385508	0.7	0.090353	0.172333	0.584109
0.75	0.005859	0.066284	0.105511	0.75	0.063493	0.141099	0.537132
0.8	-0.02273	0.03272	-0.88467	0.8	0.035795	0.107256	0.424926
0.85	-0.05212	-0.00368	19.16075	0.85	0.007298	0.070652	0.139737
0.9	-0.08225	-0.04307	2.735296	0.9	-0.02196	0.031134	-1.01046
0.95	-0.11311	-0.08562	1.997272	0.95	-0.05195	-0.01145	6.859268
1	-0.14464	-0.13149	1.750704	1	-0.08263	-0.05726	2.296819
1.05	-0.17681	-0.18083	1.633986	1.05	-0.11396	-0.10644	1.789301
1.1	-0.20959	-0.23381	1.569364	1.1	-0.14591	-0.15914	1.605187
1.15	-0.24293	-0.29058	1.530176	1.15	-0.17845	-0.21553	1.515393
1.2	-0.27681	-0.35131	1.504853	1.2	-0.21152	-0.27574	1.46506
1.25	-0.31118	-0.41616	1.487601	1.25	-0.24511	-0.33994	1.434436
1.3	-0.34601	-0.48528	1.475218	1.3	-0.27917	-0.40828	1.414699
1.35	-0.38125	-0.55884	1.465815	1.35	-0.31366	-0.48091	1.401342
1.4	-0.41688	-0.63699	1.458216	1.4	-0.34855	-0.55799	1.39184
1.45	-0.45285	-0.71991	1.451663	1.45	-0.38381	-0.63966	1.384683
1.5	-0.48913	-0.80774	1.445655	1.5	-0.41939	-0.72608	1.378925
1.55	-0.52568	-0.90065	1.439856	1.55	-0.45526	-0.81741	1.373951
1.6	-0.56246	-0.99879	1.434035	1.6	-0.49138	-0.91379	1.369351
1.65	-0.59944	-1.10234	1.428037	1.65	-0.52773	-1.01538	1.364845
1.7	-0.63658	-1.21144	1.421754	1.7	-0.56425	-1.12233	1.360246

P/D= 0.90 Variasi= 5 P/D= 1.00 Variasi= 6

J	Kt 5	10 Kq	Eff 5	J	Kt 6	10 Kq	Eff 6
0	0.399235	0.513498	0	0	0.437051	0.613783	0
0.05	0.388999	0.502261	0.061632	0.05	0.428027	0.602184	0.056563
0.1	0.377417	0.490525	0.122456	0.1	0.417659	0.590053	0.112655
0.15	0.364526	0.478146	0.182003	0.15	0.405982	0.577257	0.167899
0.2	0.350359	0.464982	0.239844	0.2	0.39303	0.563665	0.22195
0.25	0.334954	0.450887	0.295582	0.25	0.37884	0.549145	0.274492
0.3	0.318346	0.435719	0.348847	0.3	0.363445	0.533564	0.325232
0.35	0.300571	0.419335	0.399277	0.35	0.34688	0.516791	0.373898
0.4	0.281664	0.40159	0.446507	0.4	0.32918	0.498693	0.420223
0.45	0.26166	0.382342	0.490139	0.45	0.310379	0.479138	0.463943
0.5	0.240597	0.361446	0.529707	0.5	0.290513	0.457995	0.504772
0.55	0.218508	0.33876	0.564623	0.55	0.269617	0.435132	0.542386

0.6	0.19543	0.314139	0.594075	0.6	0.247724	0.410415	0.576388
0.65	0.171398	0.28744	0.61687	0.65	0.224869	0.383714	0.606255
0.7	0.146449	0.25852	0.631119	0.7	0.201088	0.354897	0.631253
0.75	0.120617	0.227234	0.633602	0.75	0.176416	0.32383	0.650281
0.8	0.093939	0.193441	0.618311	0.8	0.150886	0.290383	0.661588
0.85	0.066449	0.156995	0.572589	0.85	0.124534	0.254423	0.662171
0.9	0.038185	0.117754	0.464487	0.9	0.097394	0.215818	0.64641
0.95	0.00918	0.075574	0.18366	0.95	0.069502	0.174436	0.602425
1	-0.02053	0.030312	-1.07788	1	0.040891	0.130145	0.500059
1.05	-0.05091	-0.01818	4.680038	1.05	0.011597	0.082813	0.234025
1.1	-0.08192	-0.07004	2.047674	1.1	-0.01835	0.032308	-0.99408
1.15	-0.11352	-0.12541	1.656832	1.15	-0.0489	-0.0215	4.162681
1.2	-0.14569	-0.18443	1.508658	1.2	-0.08004	-0.07875	1.941108
1.25	-0.17839	-0.24726	1.435258	1.25	-0.11172	-0.13956	1.592475
1.3	-0.21157	-0.31403	1.393925	1.3	-0.14391	-0.20408	1.458939
1.35	-0.24521	-0.38489	1.368829	1.35	-0.17657	-0.27243	1.392553
1.4	-0.27927	-0.45998	1.352775	1.4	-0.20967	-0.34475	1.35516
1.45	-0.31371	-0.53945	1.342039	1.45	-0.24318	-0.42116	1.332519
1.5	-0.3485	-0.62343	1.334516	1.5	-0.27706	-0.5018	1.318125
1.55	-0.3836	-0.71207	1.328937	1.55	-0.31128	-0.58681	1.308597
1.6	-0.41898	-0.80552	1.324502	1.6	-0.3458	-0.6763	1.30202
1.65	-0.45459	-0.90392	1.320686	1.65	-0.38058	-0.77043	1.297231
1.7	-0.49042	-1.00741	1.317137	1.7	-0.41559	-0.86931	1.293494

P/D= 1.05 Variasi= 7 P/D= 1.10 Variasi= 8

J	Kt 7	10 Kq	Eff 7	J	Kt 8	10 Kq	Eff 8
0	0.454535	0.666664	0	0	0.470986	0.721158	0
0.05	0.446158	0.654928	0.054211	0.05	0.463279	0.709318	0.051975
0.1	0.436438	0.642641	0.108087	0.1	0.454231	0.696911	0.103734
0.15	0.425411	0.62968	0.161287	0.15	0.443878	0.683817	0.154966
0.2	0.413111	0.615917	0.213498	0.2	0.432253	0.669917	0.205384
0.25	0.399571	0.601228	0.264433	0.25	0.41939	0.655091	0.254728
0.3	0.384827	0.585486	0.313827	0.3	0.405322	0.639222	0.302754
0.35	0.368912	0.568566	0.361434	0.35	0.390083	0.62219	0.349238
0.4	0.35186	0.550343	0.407021	0.4	0.373708	0.603876	0.393971
0.45	0.333707	0.53069	0.450358	0.45	0.356229	0.584161	0.436747

0.5	0.314486	0.509482	0.491205	0.5	0.337682	0.562926	0.47736
0.55	0.294232	0.486593	0.529306	0.55	0.318098	0.540052	0.515596
0.6	0.272979	0.461898	0.564357	0.6	0.297514	0.515419	0.551211
0.65	0.250761	0.435271	0.595983	0.65	0.275961	0.48891	0.58392
0.7	0.227612	0.406586	0.623679	0.7	0.253475	0.460404	0.613359
0.75	0.203567	0.375717	0.646738	0.75	0.230089	0.429783	0.639039
0.8	0.17866	0.342539	0.664091	0.8	0.205836	0.396928	0.660268
0.85	0.152926	0.306927	0.674039	0.85	0.180751	0.361719	0.676001
0.9	0.126398	0.268753	0.673672	0.9	0.154867	0.324039	0.68458
0.95	0.099111	0.227894	0.657555	0.95	0.128218	0.283767	0.683175
1	0.071099	0.184223	0.614243	1	0.100839	0.240784	0.666528
1.05	0.042397	0.137614	0.514847	1.05	0.072762	0.194973	0.623645
1.1	0.013038	0.087942	0.259556	1.1	0.044021	0.146213	0.527096
1.15	-0.01694	0.035081	-0.88393	1.15	0.014651	0.094385	0.284112
1.2	-0.04751	-0.02109	4.301534	1.2	-0.01531	0.039372	-0.74288
1.25	-0.07863	-0.08071	1.938212	1.25	-0.04584	-0.01895	4.813211
1.3	-0.11027	-0.14389	1.585604	1.3	-0.0769	-0.08069	1.971735
1.35	-0.1424	-0.21077	1.45164	1.35	-0.10845	-0.14598	1.596189
1.4	-0.17497	-0.28146	1.385196	1.4	-0.14046	-0.21493	1.456133
1.45	-0.20797	-0.35609	1.347788	1.45	-0.1729	-0.28766	1.38705
1.5	-0.24134	-0.43479	1.325134	1.5	-0.20573	-0.36429	1.348186
1.55	-0.27506	-0.51769	1.310732	1.55	-0.23891	-0.44494	1.324614
1.6	-0.3091	-0.60491	1.301211	1.6	-0.27243	-0.52973	1.30959
1.65	-0.34341	-0.69657	1.294659	1.65	-0.30623	-0.61878	1.299633
1.7	-0.37797	-0.7928	1.289918	1.7	-0.3403	-0.71221	1.292773

P/D=

1.05

Variasi=

7

P/D=

1.10

Variasi=

8

J	Kt 7	10 Kq	Eff 7	J	Kt 8	10 Kq	Eff 8
0	0.454535	0.666664	0	0	0.470986	0.721158	0
0.05	0.446158	0.654928	0.054211	0.05	0.463279	0.709318	0.051975
0.1	0.436438	0.642641	0.108087	0.1	0.454231	0.696911	0.103734
0.15	0.425411	0.62968	0.161287	0.15	0.443878	0.683817	0.154966
0.2	0.413111	0.615917	0.213498	0.2	0.432253	0.669917	0.205384
0.25	0.399571	0.601228	0.264433	0.25	0.41939	0.655091	0.254728
0.3	0.384827	0.585486	0.313827	0.3	0.405322	0.639222	0.302754
0.35	0.368912	0.568566	0.361434	0.35	0.390083	0.62219	0.349238
0.4	0.35186	0.550343	0.407021	0.4	0.373708	0.603876	0.393971

0.45	0.333707	0.53069	0.450358	0.45	0.356229	0.584161	0.436747
0.5	0.314486	0.509482	0.491205	0.5	0.337682	0.562926	0.47736
0.55	0.294232	0.486593	0.529306	0.55	0.318098	0.540052	0.515596
0.6	0.272979	0.461898	0.564357	0.6	0.297514	0.515419	0.551211
0.65	0.250761	0.435271	0.595983	0.65	0.275961	0.48891	0.58392
0.7	0.227612	0.406586	0.623679	0.7	0.253475	0.460404	0.613359
0.75	0.203567	0.375717	0.646738	0.75	0.230089	0.429783	0.639039
0.8	0.17866	0.342539	0.664091	0.8	0.205836	0.396928	0.660268
0.85	0.152926	0.306927	0.674039	0.85	0.180751	0.361719	0.676001
0.9	0.126398	0.268753	0.673672	0.9	0.154867	0.324039	0.68458
0.95	0.099111	0.227894	0.657555	0.95	0.128218	0.283767	0.683175
1	0.071099	0.184223	0.614243	1	0.100839	0.240784	0.666528
1.05	0.042397	0.137614	0.514847	1.05	0.072762	0.194973	0.623645
1.1	0.013038	0.087942	0.259556	1.1	0.044021	0.146213	0.527096
1.15	-0.01694	0.035081	-0.88393	1.15	0.014651	0.094385	0.284112
1.2	-0.04751	-0.02109	4.301534	1.2	-0.01531	0.039372	-0.74288
1.25	-0.07863	-0.08071	1.938212	1.25	-0.04584	-0.01895	4.813211
1.3	-0.11027	-0.14389	1.585604	1.3	-0.0769	-0.08069	1.971735
1.35	-0.1424	-0.21077	1.45164	1.35	-0.10845	-0.14598	1.596189
1.4	-0.17497	-0.28146	1.385196	1.4	-0.14046	-0.21493	1.456133
1.45	-0.20797	-0.35609	1.347788	1.45	-0.1729	-0.28766	1.38705
1.5	-0.24134	-0.43479	1.325134	1.5	-0.20573	-0.36429	1.348186
1.55	-0.27506	-0.51769	1.310732	1.55	-0.23891	-0.44494	1.324614
1.6	-0.3091	-0.60491	1.301211	1.6	-0.27243	-0.52973	1.30959
1.65	-0.34341	-0.69657	1.294659	1.65	-0.30623	-0.61878	1.299633
1.7	-0.37797	-0.7928	1.289918	1.7	-0.3403	-0.71221	1.292773

P/D= 1.15 Variasi= 9 P/D= 1.20 Variasi= 10

J	Kt 9	10 Kq	Eff 9	J	Kt 10	10 Kq	Eff 10
0	0.48636	0.777081	0	0	0.500632	0.834229	0
0.05	0.479341	0.765178	0.049851	0.05	0.494313	0.822309	0.047836
0.1	0.470985	0.752688	0.099589	0.1	0.486662	0.809781	0.095649
0.15	0.461326	0.739499	0.14893	0.15	0.47771	0.79654	0.143175
0.2	0.450396	0.725499	0.19761	0.2	0.467491	0.782481	0.190173
0.25	0.43823	0.710574	0.245388	0.25	0.456038	0.767498	0.23642
0.3	0.42486	0.694614	0.292041	0.3	0.443383	0.751485	0.281709
0.35	0.410321	0.677505	0.337364	0.35	0.42956	0.734338	0.325848

0.4	0.394644	0.659137	0.381163	0.4	0.414601	0.715951	0.368661
0.45	0.377865	0.639395	0.423252	0.45	0.398539	0.69622	0.409975
0.5	0.360015	0.618169	0.46345	0.5	0.381408	0.675038	0.449627
0.55	0.341128	0.595347	0.501569	0.55	0.36324	0.6523	0.487449
0.6	0.321239	0.570815	0.537408	0.6	0.344068	0.627902	0.523268
0.65	0.300379	0.544462	0.570737	0.65	0.323925	0.601738	0.556893
0.7	0.278583	0.516175	0.601279	0.7	0.302844	0.573702	0.588101
0.75	0.255884	0.485843	0.628679	0.75	0.280858	0.543689	0.61662
0.8	0.232315	0.453353	0.652455	0.8	0.258	0.511595	0.642101
0.85	0.207909	0.418593	0.671925	0.85	0.234302	0.477313	0.664067
0.9	0.182701	0.381451	0.686063	0.9	0.209798	0.440739	0.68184
0.95	0.156722	0.341815	0.69324	0.95	0.18452	0.401767	0.694407
1	0.130007	0.299572	0.690696	1	0.158502	0.360292	0.700166
1.05	0.10259	0.254611	0.673343	1.05	0.131776	0.316209	0.696423
1.1	0.074502	0.206818	0.630655	1.1	0.104376	0.269412	0.67826
1.15	0.045778	0.156083	0.536809	1.15	0.076333	0.219796	0.635644
1.2	0.016451	0.102292	0.307153	1.2	0.047682	0.167255	0.544473
1.25	-0.01345	0.045334	-0.59004	1.25	0.018455	0.111686	0.328731
1.3	-0.04388	-0.0149	6.091417	1.3	-0.01132	0.052981	-0.4419
1.35	-0.07481	-0.07853	2.046836	1.35	-0.0416	-0.00896	9.971107
1.4	-0.10622	-0.14567	1.624767	1.4	-0.07235	-0.07425	2.171182
1.45	-0.13806	-0.21642	1.472205	1.45	-0.10356	-0.14299	1.671273
1.5	-0.17031	-0.29089	1.397667	1.5	-0.13517	-0.21529	1.49888
1.55	-0.20292	-0.36921	1.355805	1.55	-0.16716	-0.29125	1.41588
1.6	-0.23587	-0.45148	1.330357	1.6	-0.1995	-0.37097	1.369433
1.65	-0.26912	-0.53782	1.31406	1.65	-0.23215	-0.45457	1.341139
1.7	-0.30264	-0.62833	1.303198	1.7	-0.26508	-0.54214	1.322921

P/D=

1.25

Variasi=

11

P/D=

1.40

Variasi=

12

J	Kt 11	10 Kq	Eff 11	J	Kt 12	10 Kq	Eff 12
0	0.513793	0.892377	0	0	0.546871	1.070177	0
0.05	0.50818	0.880492	0.045929	0.05	0.543307	1.05879	0.040834
0.1	0.501239	0.867977	0.091909	0.1	0.538437	1.04669	0.081872
0.15	0.493002	0.854733	0.137699	0.15	0.532293	1.033796	0.122921
0.2	0.483501	0.840661	0.183074	0.2	0.524906	1.020029	0.163802
0.25	0.47277	0.825663	0.227828	0.25	0.516309	1.005307	0.204348
0.3	0.460841	0.809641	0.271769	0.3	0.506532	0.98955	0.244405

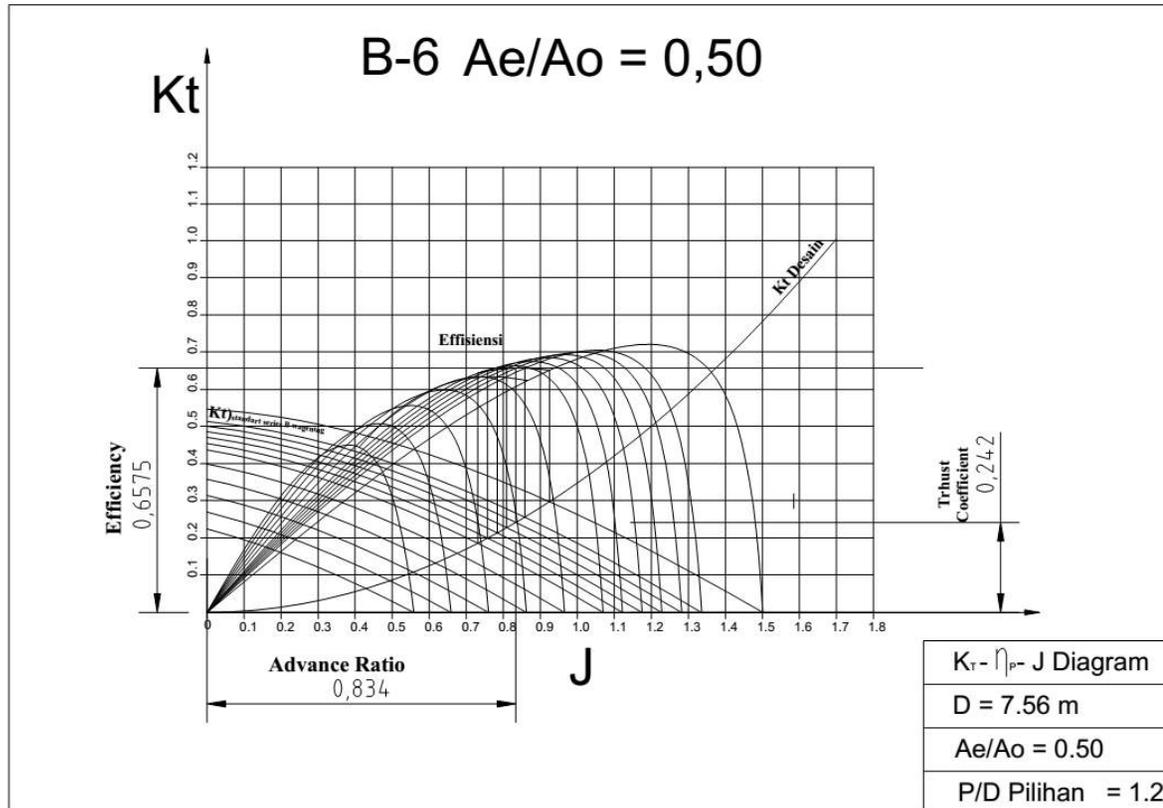
0.35	0.447746	0.792495	0.314719	0.35	0.495608	0.972677	0.283829
0.4	0.433517	0.774129	0.356511	0.4	0.483568	0.954609	0.322487
0.45	0.418188	0.754442	0.396989	0.45	0.470444	0.935263	0.360252
0.5	0.401791	0.733337	0.436	0.5	0.456268	0.914561	0.397006
0.55	0.384357	0.710715	0.473394	0.55	0.441071	0.89242	0.432635
0.6	0.365921	0.686478	0.509017	0.6	0.424885	0.868761	0.467028
0.65	0.346514	0.660527	0.542705	0.65	0.407742	0.843503	0.500072
0.7	0.326169	0.632763	0.574274	0.7	0.389674	0.816566	0.531653
0.75	0.304918	0.603089	0.603508	0.75	0.370712	0.787868	0.561647
0.8	0.282794	0.571406	0.630138	0.8	0.350887	0.75733	0.589919
0.85	0.25983	0.537615	0.653818	0.85	0.330233	0.724871	0.616308
0.9	0.236057	0.501618	0.674073	0.9	0.308779	0.69041	0.640625
0.95	0.211509	0.463316	0.690232	0.95	0.286559	0.653867	0.662626
1	0.186218	0.422611	0.701294	1	0.263603	0.61516	0.681997
1.05	0.160216	0.379404	0.705687	1.05	0.239944	0.574211	0.69831
1.1	0.133536	0.333597	0.700789	1.1	0.215613	0.530937	0.71096
1.15	0.10621	0.285092	0.681865	1.15	0.190642	0.485259	0.719057
1.2	0.078271	0.23379	0.63941	1.2	0.165063	0.437095	0.72123
1.25	0.049752	0.179592	0.551134	1.25	0.138906	0.386366	0.715242
1.3	0.020685	0.1224	0.349658	1.3	0.112205	0.332991	0.697178
1.35	-0.0089	0.062116	-0.30776	1.35	0.084991	0.276889	0.659507
1.4	-0.03896	-0.00136	63.86303	1.4	0.057294	0.217979	0.585659
1.45	-0.06948	-0.06812	2.353646	1.45	0.029148	0.156182	0.430697
1.5	-0.10041	-0.13828	1.733616	1.5	0.000584	0.091416	0.015255
1.55	-0.13173	-0.21192	1.533494	1.55	-0.02837	0.023601	-2.965
1.6	-0.1634	-0.28914	1.439124	1.6	-0.05767	-0.04734	3.102032
1.65	-0.1954	-0.37005	1.386653	1.65	-0.0873	-0.1215	1.886912
1.7	-0.22768	-0.45473	1.354667	1.7	-0.11722	-0.19894	1.5942

Dari data diatas didapatkan grafik Kt-J dan efisiensi dengan variasi harga sebagai berikut:

- Variasi harga pitch ratio (P/D) yaitu : 0.5 sampai 1.4
- Variasi A_E/A_0 Sesuai buku Principle of Naval Architecture Volume II Halaman 186
- Harga variasi J antara 0,00 – 0,17 dengan interval 0.05
- Blade *propeller* (Z) diambil 4 daun yaitu 3, 4, 5, dan 6.
- Harga J dijadikan sebagai sumbu absis (x)
- Harga Kt dan efisiensi dijadikan sebagai sumbu ordinat (y)

4.1.3 Pembacaan Grafik K_T ; J dan Efisiensi

Berikut merupakan salah satu hasil pembacaan grafik dari blade 6 A_e/A_o 0.50 yang bersinggungan dengan $K_{Tdesain}$



Gambar 4. 2 Grafik Blade 6 A_e/A_o 0.50

4.1.4 Pemeriksaan Kavitas Propeller

Perhitungan ini dilakukan untuk mengecek bahwa pada suatu propeller mengalami kavitas atau tidak. Berikut perhitungan yang harus dilakukan, sebagai contoh blade 6 dengan A_e/A_o 0.50 dan P/D 1.2 yang telah dilakukan pembacaan pada grafik K_t – Efisiensi – J Diagram.

Langkah-langkah perhitungan yang dilakukan adalah (*ref: PNA Vol. II - hal 182*):

- Perhitungan Developed Area dengan rumus :

$$\begin{aligned} A_D &= \left(\frac{A_E}{A_O} \right) \cdot 0.25 \cdot \pi \cdot D^2 \text{ [m}^2\text{]} \\ &= 0.50 \cdot 0.25 \cdot 3.14 \cdot 7.56^2 \\ &= 22.442 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- Perhitungan Projected Area Ratio dengan rumus :

$$\begin{aligned} \frac{A_P}{A_D} &= 1.067 - 0.229 P/D \\ &= 1.067 - 0.229 \cdot 1.2 \\ &= 0.7922 \end{aligned}$$

- Perhitungan Projected Area dengan rumus :

$$\begin{aligned} A_P &= \frac{A_P}{A_D} \cdot A_D \text{ [m}^2\text{]} \\ &= 0.7922 \times 22.442 \\ &= 17.7803 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- Perhitungan Relative Velocity of water at dengan rumus :

$$\begin{aligned} V_R &= \sqrt{(V_a)^2 + (0.7 \cdot \pi \cdot n \cdot D)^2} \\ &= 25.2239 \text{ m/s} \end{aligned}$$

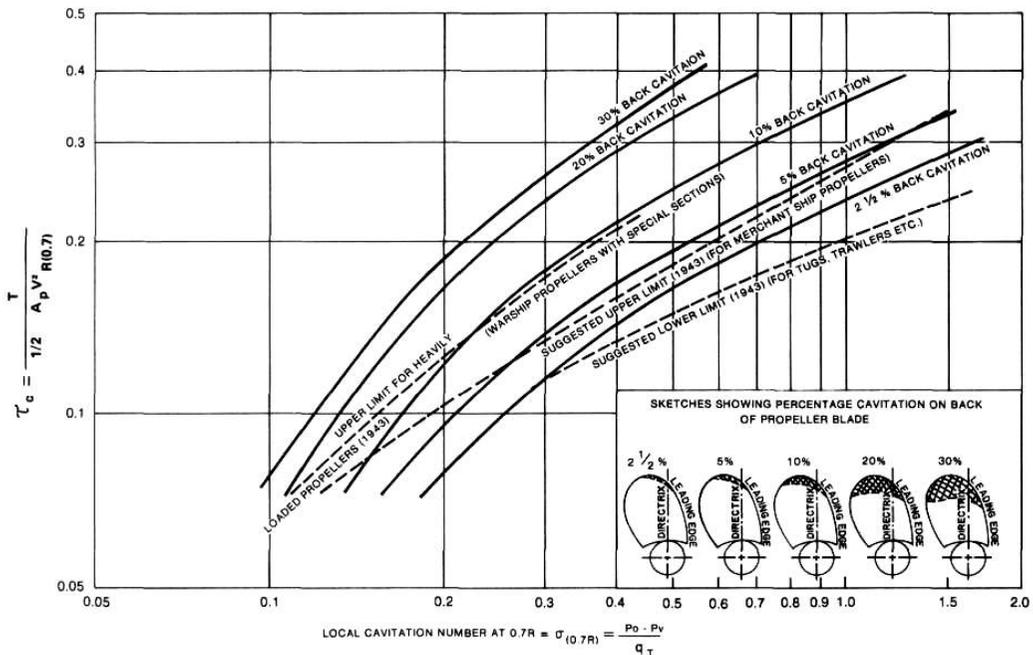
- Perhitungan mean thrust loading in blade dengan rumus :

$$\begin{aligned} \tau_{C'} &= \frac{T/A_P}{0.5 \cdot 1025 \cdot V_R^2} \\ &= (1630.19/17.78) / (0.5 \cdot 1025 \cdot 25.22^2) \\ &= 0.2812 \end{aligned}$$

- Perhitungan Local Cavitation Number at 0,7 radius dengan rumus :

$$\begin{aligned} \sigma_{0.7R} &= \frac{188.2 + 19.62h'}{V_A^2 + 4.836n^2D^2} \\ &= (188.2 + 19.62 \cdot 8.7450) / ((8.9^2) + 4.836(1.41^2) \cdot 7.56^2) \\ &= 0.5655 \end{aligned}$$

Nilai $\sigma_{0,7R}$ ini digunakan untuk mengetahui nilai angka kavitasi pada diagram burrill dipotongkan dengan kurva merchant ship propeller.



Gambar 4. 3 Diagram Burrill

Dalam diagram didapatkan nilai :

$$Tc_{burrills} = 0,2017$$

$$Tc_{hitung} = 0,2812$$

Maka, Jika $Tc_{burrills} > Tc_{hitung}$ (kavitasi)

4.1.5 Hasil Rekapitulasi dan Pemilihan Tipe Propeller B-Series

Berikut hasil rekapitulasi perhitungan pada semua variasi blade, A_e/A_o , dan P/D setelah melakukan pembacaan grafik yang memiliki harga efisiensi paling tinggi beserta perhitungan pengecekan kavitasi:

Tabel 4. 5 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Tahap Preliminary Desain

1	BLADE 3				2	BLADE 4				
A_E/A_O	0.35	0.50	0.65	0.80	A_E/A_O	0.40	0.55	0.70	0.85	1.00
η_P	0.6784	0.6499	0.6279	0.6294	η_P	0.6608	0.6578	0.6508	0.6411	0.6337
K_T	0.1459	0.1437	0.1664	0.2766	K_T	0.1894	0.1758	0.1874	0.1996	0.2409
J_A	0.6476	0.6428	0.6917	0.8918	J_A	0.7380	0.7110	0.7340	0.7575	0.8323
P/D	0.9000	0.9000	1.0000	1.4000	P/D	1.0500	1.0000	1.0500	1.1000	1.2500
n	109.6158	110.4343	102.6272	79.5999	n	96.1886	99.8414	96.7128	93.7125	85.2904
K_q	0.0222	0.0226	0.0292	0.0624	K_q	0.0337	0.0302	0.0336	0.0375	0.0504
A_D	15.7109	22.4442	29.1774	35.9107	A_D	17.9553	24.6886	31.4218	38.1551	44.8883
A_p/A_D	0.8609	0.8609	0.8380	0.7464	A_p/A_D	0.8266	0.8380	0.8266	0.8151	0.7808
A_P	13.5255	19.3222	24.4507	26.8037	A_P	14.8410	20.6890	25.9717	31.1002	35.0466
V_R	31.6629	31.8805	29.8103	23.8008	V_R	28.1135	29.0749	28.2513	27.4640	25.2690
τ_C	0.2346	0.1620	0.1464	0.2095	τ_C	0.2712	0.1819	0.1535	0.1356	0.1421
h_{gell}	1.7250	1.7250	1.7250	1.7250	h_{gell}	1.7250	1.7250	1.7250	1.7250	1.7250
h'	7.7800	7.7800	7.7800	7.7800	h'	8.7450	8.7450	8.7450	8.7450	8.7450
$\sigma_{0,7R}$	0.3400	0.3354	0.3836	0.6017	$\sigma_{0,7R}$	0.4552	0.4256	0.4508	0.4770	0.5635
τ_c	0.0325	0.0277	0.0757	0.2464	τ_c	0.1191	0.0940	0.1154	0.1367	0.2003
T	1630.4604	1629.9477	1629.9955	1629.9935	T	1629.8059	1629.8525	1630.2196	1630.2864	1629.8425
Kriteria	kavitasi	kavitasi	kavitasi	tidak kavitasi	Kriteria	kavitasi	kavitasi	kavitasi	tidak kavitasi	tidak kavitasi
Thrust	memenuhi	tidak memenuhi	tidak memenuhi	tidak memenuhi	Thrust	tidak memenuhi	tidak memenuhi	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi

3	BLADE 5					4	BLADE 6			
AE/AO	0.45	0.60	0.75	0.90	1.05	AE/AO	0.50	0.65	0.80	0.95
η_P	0.6585	0.6620	0.6604	0.6531	0.6416	η_P	0.6575	0.6632	0.6634	0.6574
K_T	0.2358	0.2085	0.2074	0.2200	0.2325	K_T	0.2420	0.2279	0.2417	0.2401
J_A	0.8233	0.7742	0.7722	0.7953	0.8175	J_A	0.8340	0.8094	0.8335	0.8308
P/D	1.2000	1.1000	1.1000	1.1500	1.2000	P/D	1.2000	1.1500	1.2000	1.2000
n	86.2228	91.6910	91.9285	89.2584	86.8345	n	85.1165	87.7035	85.1676	85.4444
Kq	0.0469	0.0388	0.0386	0.0426	0.0471	Kq	0.0489	0.0443	0.0483	0.0483
A_D	20.1997	26.9330	33.6662	40.3995	47.1327	A_D	22.4442	29.1774	35.9107	42.6439
A_p/A_D	0.7922	0.8151	0.8151	0.8037	0.7922	A_p/A_D	0.7922	0.8037	0.7922	0.7922
A_P	16.0022	21.9531	27.4414	32.4671	37.3386	A_P	17.7803	23.4484	28.4484	33.7825
V_R	25.5107	26.9350	26.9971	26.3001	25.6696	V_R	25.2239	25.8954	25.2371	25.3089
τ_C	0.3054	0.1997	0.1590	0.1416	0.1293	τ_C	0.2812	0.2023	0.1756	0.1470
h_{gell}	1.7250	1.7250	1.7250	1.7250	1.7250	h_{gell}	1.7250	1.7250	1.7250	1.7250
h'	8.2590	8.2590	8.2590	8.2590	8.2590	h'	8.2590	8.2590	8.2590	8.2590
$\sigma_{0,7R}$	0.5382	0.4828	0.4806	0.5064	0.5315	$\sigma_{0,7R}$	0.5505	0.5223	0.5499	0.5468
τ_C	0.1997	0.1883	0.1878	0.1933	0.1984	τ_C	0.2021	0.1966	0.2020	0.2014
T	1630.4077	1630.3031	1630.1133	1630.1567	1630.4822	T	1630.6168	1630.3715	1630.5499	1630.3011
Kriteria	kavitasi	kavitasi	tidak kavitasi	tidak kavitasi	tidak kavitasi	Kriteria	kavitasi	kavitasi	tidak kavitasi	tidak kavitasi
Thrust	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi	tidak memenuhi	memenuhi	Thrust	memenuhi	memenuhi	memenuhi	memenuhi

Acuan dalam pemilihan tipe propeller B-Series dapat menggunakan data tabel diatas dengan memilih propeller yang memiliki efisiensi maksimum dan tidak mengalami kavitasi. Thrust yang dihasilkan oleh propeller juga harus lebih besar dari thrust kapal. Sehingga dalam penelitian ini memilih propeller B-Series tipe **B6-80**.

4.2 Perhitungan Ukuran Utama Foil Propeller

4.2.1 Data Utama Propeller

Data utama dari propeller telah diketahui setelah pemilihan tipe propeller B-Series. Data utama propeller berikut ini merupakan data awal yang akan digunakan untuk perhitungan koordinat masing – masing foil dan menggambar proyeksi propeller. Dibawah ini merupakan data utama propeller:

D	: diameter propeller	= 7.56 m
A_E/A_0	: expanded area ratio	= 0.80
Z	: jumlah daun	= 6 buah
P/D	: pitch ratio	= 1.2

4.2.2 Perhitungan Panjang dan Tebal Maksimum Masing-Masing Foil Daun Propeller

Perhitungan panjang dan tebal maksimum masing – masing foil daun propeller berdasarkan tabel 12 - “*Dimensions of Four, Five, Six and Seven-bladed Wageningen B-screw Series*” yang disadur dari buku “*Principle of Naval Architecture*” Chapter VI halaman 187”. Berikut merupakan tabel hasil perhitungan:

Tabel 4. 6 Hasil Perhitungan Panjang dan Tebal Maksimum Pada Foil

r/R	Z	D	A_E/A_0	c_r	a_r	b_r	S_r	d_r
0.2	6.00	7560	0.80	1675.30	1033.66	586.35	216.216	1088.94
0.3	6.00	7560	0.80	1897.06	1162.90	663.97	192.024	1233.09
0.4	6.00	7560	0.80	2066.40	1241.91	723.24	167.832	1343.16
0.5	6.00	7560	0.80	2169.22	1271.16	759.23	143.640	1409.99
0.6	6.00	7560	0.80	2204.50	1236.72	857.55	119.448	1346.95
0.7	6.00	7560	0.80	2161.15	1132.44	957.39	95.256	1203.76
0.8	6.00	7560	0.80	1985.76	919.41	951.18	71.064	1034.58
0.9	6.00	7560	0.80	1594.66	559.72	797.33	46.872	797.33
1.0	6.00	7560	0.80	0.00	0.00	0.00	22.680	0.00

4.2.3 Perhitungan Koordinat Foil Daun Propeller

Perhitungan ini berdasarkan “table 14-Values of $V1$ ” dan “table 15-Values of $V2$ ” pada buku “Principle of Naval Architecture” Chapter VI halaman 188. $V1$ dan $V2$ berfungsi sebagai konstanta dalam perhitungan $YFACE$ dan $YBACK$. Panjang foil dibagi menjadi dua bagian, yaitu bagian depan t_{max} hingga leading edge dan bagian belakang t_{max} hingga trailing edge. Masing – masing bagian dibagi menjadi beberapa potongan yang sama (biasanya 10 bagian) sesuai dengan kebutuhan yang ditulis berdasarkan prosentase terhadap panjang masing–masing bagian dengan posisi t_{max} sebagai sumbu netralnya. Pada bagian depan t_{max} harga prosentasenya bernilai positif dan diakhiri symbol +P pada ujung leading edge, sedangkan pada bagian belakang t_{max} bernilai negative dan diakhiri dengan symbol –P pada ujung trailing edge. P adalah panjang maksimum kedua bagian tersebut. Pada titik-titik itulah koordinat $YFACE$ dan $YBACK$ dihitung. Berikut ini rumus dari $YFACE$ dan $YBACK$ pada kedua bagian tersebut:

- Untuk $P > 0$, maka : $YFACE = V1 (t_{max} - t_{L.e})$

$$YBACK = (V1 + V2) (t_{max} - t_{L.e})$$

- Untuk $P \leq 0$, maka : $YFACE = V1 (t_{max} - t_{t.e})$

$$YBACK = (V1 + V2) (t_{max} - t_{t.e})$$

Koordinat Y digunakan untuk menggambar proyeksi expanded blade propeller

Tabel 4. 7 Hasil Perhitungan Yface dan Yback tiap r/R

koordinat pada saat r/R = 0,2			koordinat pada saat r/R = 0,4		
P	y _{face} (mm)	y _{back} (mm)	P	y _{face} (mm)	y _{back} (mm)
-1.00	60.2481	60.2481	-1.00	24.1773	24.1773
-0.95	56.0695	69.7138	-0.95	19.7770	34.6921
-0.90	51.1661	82.1855	-0.90	16.0193	45.8496
-0.80	41.9349	107.1716	-0.80	10.3829	68.0657
-0.70	33.4711	130.1537	-0.70	6.5099	89.5731
-0.60	25.7323	150.2790	-0.60	3.5269	108.2294
-0.50	18.7609	167.8887	-0.50	1.9118	125.9298
-0.40	12.6210	182.8335	-0.40	0.7252	139.4111
-0.20	3.6669	205.0481	-0.20	0.0000	158.9573
0.00	0.0000	213.1920	0.00	0.0000	164.8080
0.20	1.0169	203.3508	0.20	0.0000	156.2321
0.40	6.3087	190.4844	0.40	0.5301	144.1191
0.50	10.7911	180.3366	0.50	1.4459	135.5083
0.60	16.6848	167.6985	0.60	3.0363	125.0178

0.70	24.4876	152.9437	0.70	5.7352	111.6036
0.80	34.9675	134.1007	0.80	10.2334	94.0927
0.85	41.5044	122.5417	0.85	13.3821	83.0239
0.90	48.8299	107.7662	0.90	17.4787	69.4490
0.95	58.5420	90.9154	0.95	23.5674	54.6531
1.00	73.8778	73.8778	1.00	35.0378	35.0378

koordinat pada saat $r/R = 0,3$			koordinat pada saat $r/R = 0,5$		
P	y _{face} (mm)	y _{back} (mm)	P	y _{face} (mm)	y _{back} (mm)
-1.00	43.5834	43.5834	-1.00	7.3402	7.3402
-0.95	38.5560	53.6760	-0.95	5.9059	14.9053
-0.90	33.8310	65.3940	-0.90	4.6403	25.1000
-0.80	25.1937	88.6977	-0.80	2.6717	45.7002
-0.70	17.8227	110.1492	-0.70	1.4062	65.1755
-0.60	11.7747	128.8602	-0.60	0.5625	82.7103
-0.50	7.1064	145.7379	-0.50	0.1687	98.5296
-0.40	3.8178	160.0263	-0.40	0.0000	112.2678
-0.20	0.6237	181.7424	-0.20	0.0000	132.8259
0.00	0.0000	189.0000	0.00	0.0000	140.6160
0.20	0.4970	179.9809	0.20	0.0000	133.2348
0.40	2.7245	166.9292	0.40	0.0000	121.8460
0.50	5.5226	158.5901	0.50	0.1098	113.6544
0.60	9.2595	147.6922	0.60	0.4665	103.0752
0.70	14.5428	134.2907	0.70	1.1663	89.3949
0.80	21.9246	116.3608	0.80	2.8952	72.0374
0.85	26.6004	105.1131	0.85	4.5006	61.2386
0.90	32.3991	91.2514	0.90	6.8607	48.7933
0.95	40.2412	75.0335	0.95	10.6752	34.6877
1.00	53.8083	53.8083	1.00	17.5359	17.5359

koordinat pada saat $r/R = 0,6$			koordinat pada saat $r/R = 0,8$		
P	y _{face} (mm)	y _{back} (mm)	P	y _{face} (mm)	y _{back} (mm)
-1.00	0.0000	0.0000	-1.00	0.0000	0.0000

-0.95	0.0000	11.2349	-0.95	0.0000	6.6339
-0.90	0.0000	21.9459	-0.90	0.0000	12.9276
-0.80	0.0000	41.7380	-0.80	0.0000	24.4944
-0.70	0.0000	59.4927	-0.70	0.0000	34.7004
-0.60	0.0000	74.6860	-0.60	0.0000	43.5456
-0.50	0.0000	87.6673	-0.50	0.0000	51.0300
-0.40	0.0000	98.0989	-0.40	0.0000	57.1536
-0.20	0.0000	111.9184	-0.20	0.0000	65.3184
0.00	0.0000	116.4240	0.00	0.0000	68.0400
0.20	0.0000	110.6172	0.20	0.0000	65.5565
0.40	0.0000	100.3431	0.40	0.0000	57.9701
0.50	0.0000	92.3522	0.50	0.0000	51.9485
0.60	0.0000	82.1923	0.60	0.0000	44.5322
0.70	0.0000	69.1785	0.70	0.0000	35.8231
0.80	0.0685	52.8086	0.80	0.0000	25.6171
0.85	0.2511	43.3450	0.85	0.0000	19.9017
0.90	0.7648	31.8153	0.90	0.0000	13.7985
0.95	1.9292	18.8814	0.95	0.0000	7.1442
1.00	4.3608	4.3608	1.00	0.0000	0.0000

koordinat pada saat $r/R = 0,7$			koordinat pada saat $r/R = 0,9$		
P	y_{face} (mm)	y_{back} (mm)	P	y_{face} (mm)	y_{back} (mm)
-1.00	0.0000	0.0000	-1.00	0.0000	0.0000
-0.95	0.0000	8.9926	-0.95	0.0000	4.2752
-0.90	0.0000	17.5241	-0.90	0.0000	8.3311
-0.80	0.0000	33.2035	-0.80	0.0000	15.7853
-0.70	0.0000	47.0383	-0.70	0.0000	22.3625
-0.60	0.0000	59.0285	-0.60	0.0000	28.0627
-0.50	0.0000	69.1740	-0.50	0.0000	32.8860
-0.40	0.0000	77.4749	-0.40	0.0000	36.8323
-0.20	0.0000	88.5427	-0.20	0.0000	42.0941
0.00	0.0000	92.2320	0.00	0.0000	43.8480
0.20	0.0000	88.1373	0.20	0.0000	42.0941
0.40	0.0000	78.8909	0.40	0.0000	36.8323

0.50	0.0000	71.5119	0.50	0.0000	32.8860
0.60	0.0000	62.3110	0.60	0.0000	28.0627
0.70	0.0000	51.1515	0.70	0.0000	22.3625
0.80	0.0000	37.7146	0.80	0.0000	15.7853
0.85	0.0000	30.0623	0.85	0.0000	12.1678
0.90	0.0000	21.2896	0.90	0.0000	8.3311
0.95	0.0000	11.2962	0.95	0.0000	4.2752
1.00	0.0000	0.0000	1.00	0.0000	0.0000

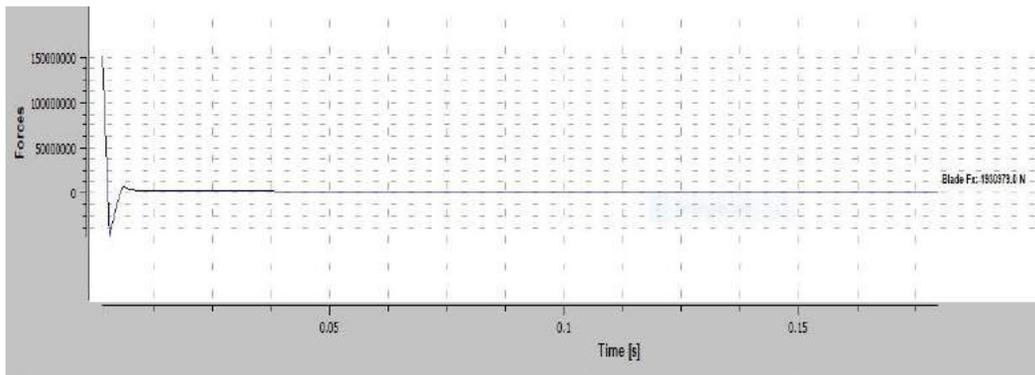
koordinat pada saat $r/R = 1.0$		
P	y_{face} (mm)	y_{back} (mm)
-1.00	0.0000	0.0000
-0.95	0.0000	1.9165
-0.90	0.0000	3.7346
-0.80	0.0000	7.0762
-0.70	0.0000	10.0246
-0.60	0.0000	12.5798
-0.50	0.0000	14.7420
-0.40	0.0000	16.5110
-0.20	0.0000	18.8698
0.00	0.0000	19.6560
0.20	0.0000	18.8698
0.40	0.0000	16.5110
0.50	0.0000	14.7420
0.60	0.0000	12.5798
0.70	0.0000	10.0246
0.80	0.0000	7.0762
0.85	0.0000	5.4545
0.90	0.0000	3.7346
0.95	0.0000	1.9165
1.00	0.0000	0.0000

4.3 Validasi Model dan Data Hasil Simulasi

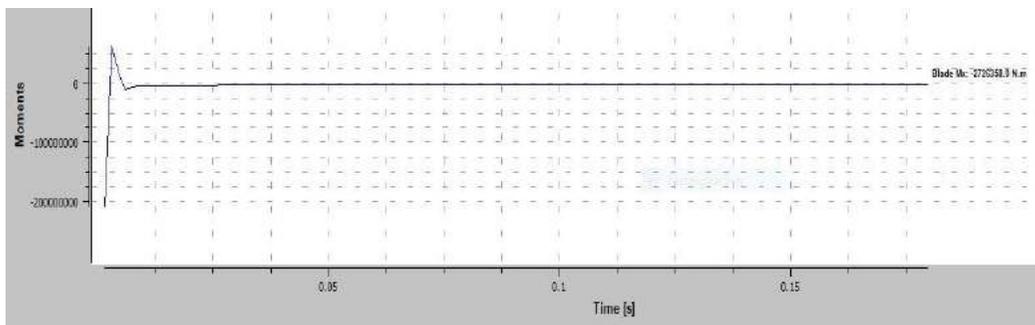
Simulasi CFD dilakukan menggunakan software Numeca Fine Marine melalui menu C-Wizard untuk *Open Water Test* pada $J=0,8335$ propeller B6-80. Data hasil simulasi CFD terbagi menjadi nilai *thrust*, torsi, dan kavitasi. Validasi dilakukan agar data yang diolah dan dianalisa dapat terjaga keakuratannya. Validasi model tugas akhir kali ini dilakukan oleh skew original B-series yaitu dengan sudut skew 14 yang dilakukan dengan simulai CFD dibandingkan dengan hasil hitungan yang telah dilakukan pada tahap preliminary desain. Nilai yang dipakai untuk perbandingan adalah gaya dorong atau *thrust*. Hasil *thrust* pada Simulasi CFD blade original B-Series adalah sebesar 1802,028 kN sedangkan hasil hitungan *thrust* yang didapat pada tahap preliminary desain untuk pemilihan propeller adalah sebesar 1630,54. Jadi margin error karena perbandingan kedua metode tersebut adalah sebesar 171,769 kN.

4.3.1 Hasil Simulasi Thrust dan Torsi

A. Variasi Skew 0°



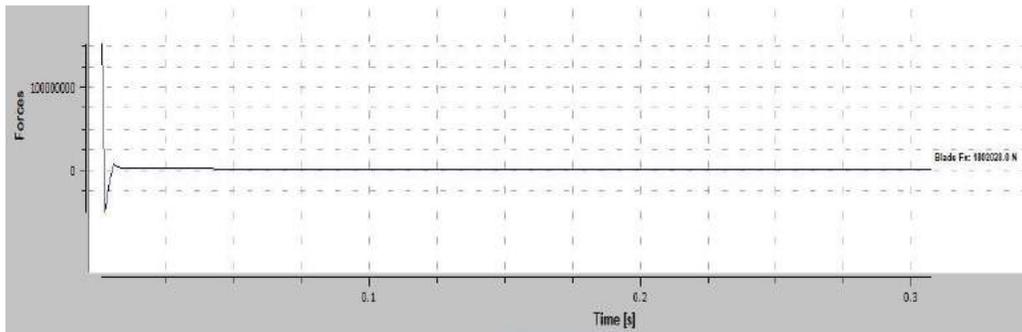
Gambar 4. 4 Thrust B6-80 Skew 0°



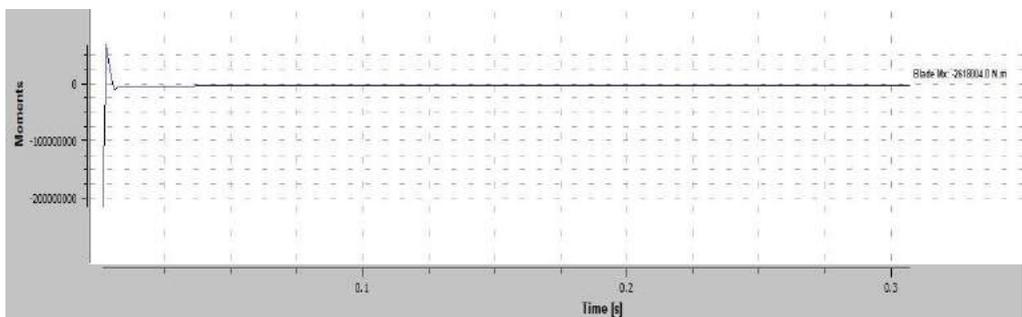
Gambar 4. 5 Torque B6-80 Skew 0°

Dari gambar hasil simulasi di atas didapatkan *thrust* sebesar 1930,979 kN dan torsi sebesar 2726,358 untuk propeller B6-80 yang memiliki skew 0°.

B. Skew 14° (Original)



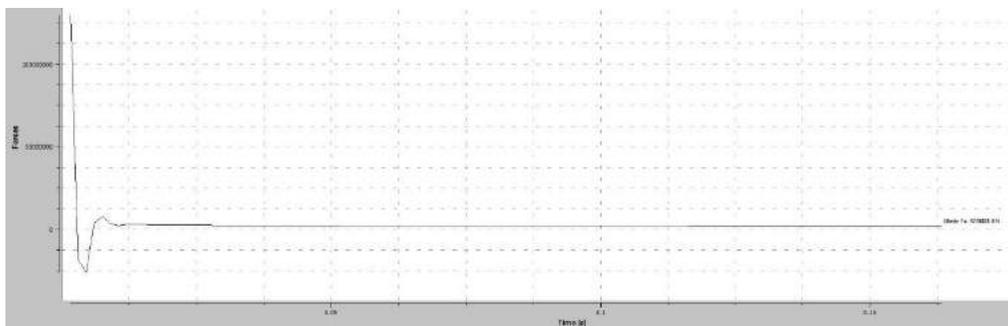
Gambar 4. 6 Thrust B6-80 Skew 14°



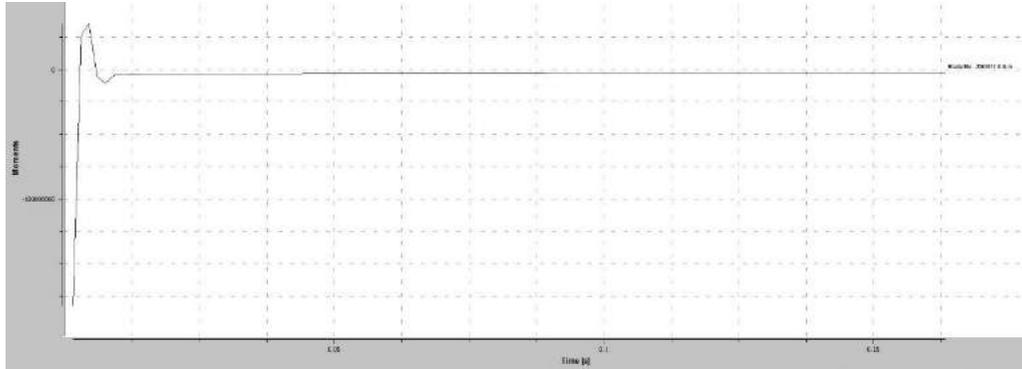
Gambar 4. 7 Torque B6-80 Skew 14°

Dari gambar hasil simulasi di atas didapatkan *thrust* sebesar 1802,028 kN dan torsi sebesar 2618,004 untuk propeller B6-80 yang memiliki skew 14°.

C. Variasi Skew 30°



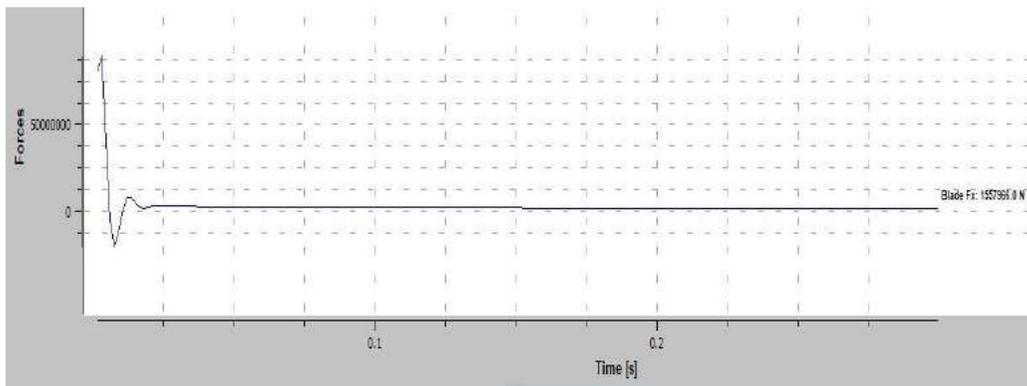
Gambar 4. 8 Thrust B6-80 Skew 30°



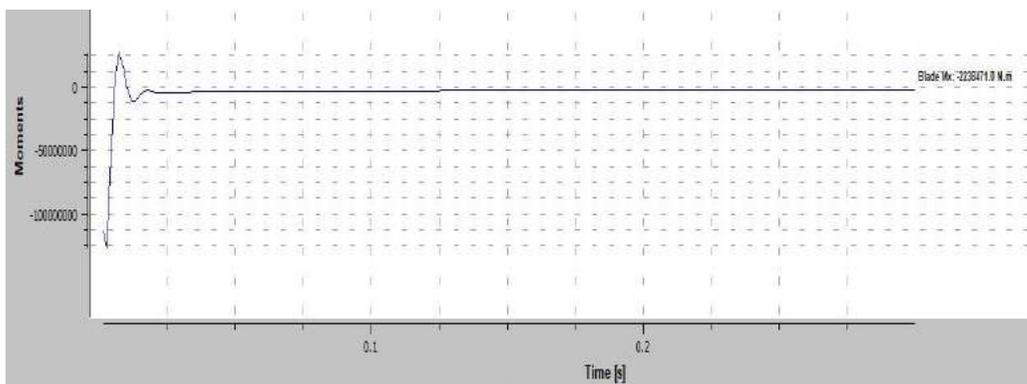
Gambar 4. 9 Torque B6-80 Skew 30°

Dari gambar hasil simulasi di atas didapatkan *thrust* sebesar 1778,03 kN dan torsi sebesar 2563,02 untuk propeller B6-80 yang memiliki skew 30°.

D. Variasi Skew 45°



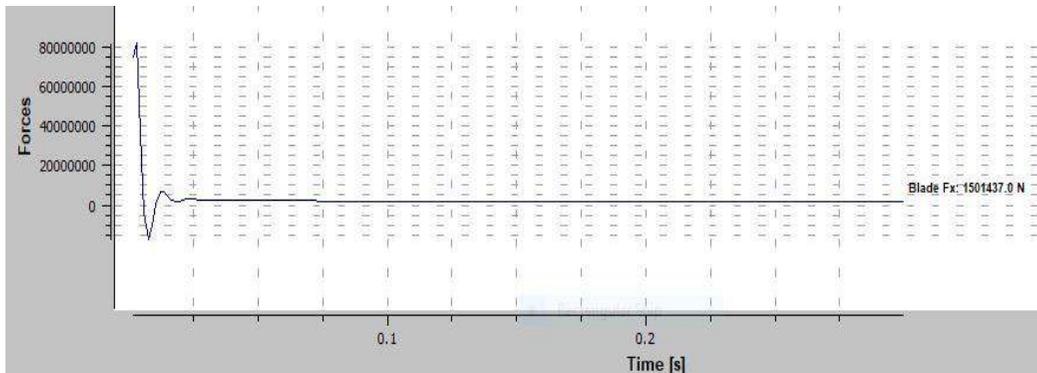
Gambar 4. 10 Thrust B6-80 Skew 45°



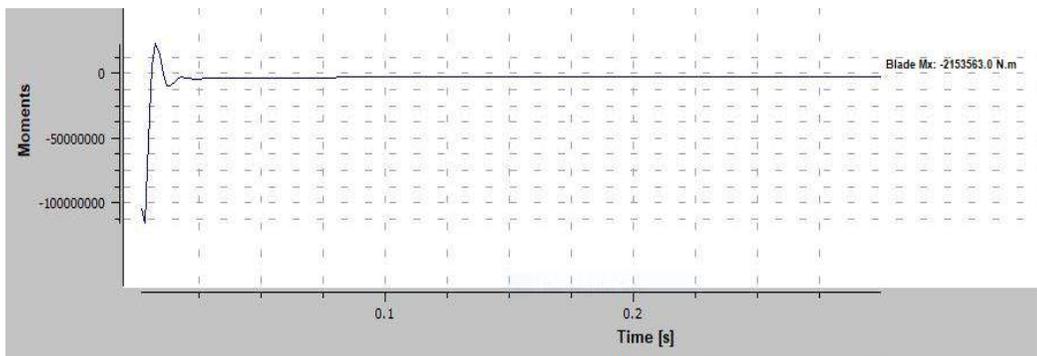
Gambar 4. 11 Torque B6-80 Skew 45°

Dari gambar hasil simulasi di atas didapatkan *thrust* sebesar 1557,966 kN dan torsi sebesar 2238,471 untuk propeller B6-80 yang memiliki skew 45°.

A. Variasi Skew 60°



Gambar 4. 12 Thrust B6-80 Skew 60°



Gambar 4. 13 Torque B6-80 Skew 60°

Dari gambar hasil simulasi di atas didapatkan *thrust* sebesar 1501,437 kN dan torsi sebesar 2153,563 untuk propeller B6-80 yang memiliki skew 60°.

4.3.2 Olah Data Hasil Simulasi Thrust dan Torsi

Dari hasil *thrust* dan torsi yang didapat dari simulasi maka dapat diperoleh nilai K_t dan K_q yang nantinya dibutuhkan untuk mencari nilai efisiensi dengan menggunakan rumus persamaan Open Water Test yaitu K_t , K_q , dan Efisiensi pada setiap variasi skew pada propeller B6-80 di $J=0,833$. Berikut tabel hasil perhitungan K_t , K_q , dan Efisiensi.

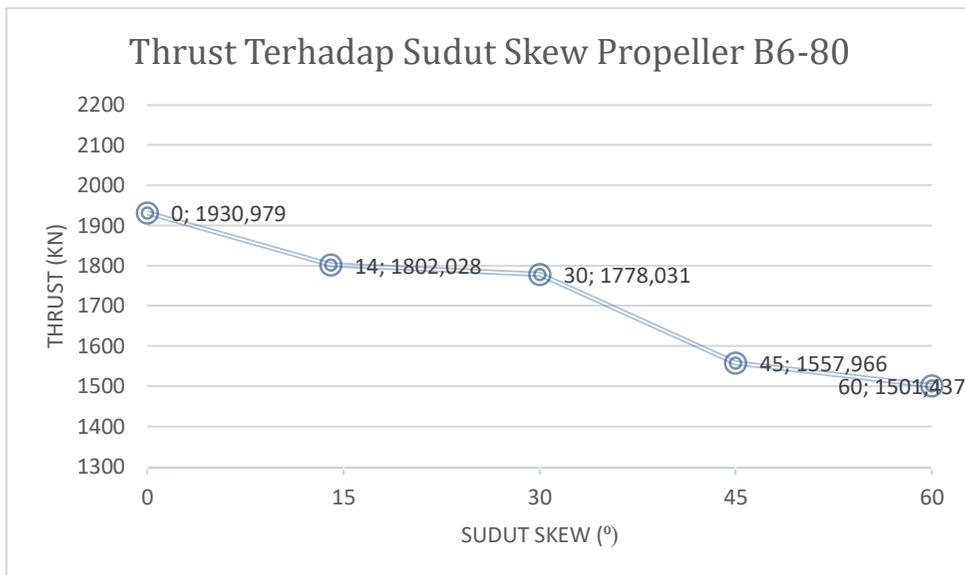
Tabel 4. 8 Hasil Perhitungan K_t , K_q , dan Efisiensi

Variasi	<i>Thrust</i>	<i>Torque</i>	K_t	$10K_q$	Efisiensi
Skew 0°	1930.979	2726.358	0.28628441	0.534664359	0.710660904

Skew 14°	1802.028	2618.004	0.267166304	0.513415124	0.690651541
Skew 30°	1778.031	2563.017	0.26360854	0.502631658	0.696074298
Skew 45°	1557.966	2238.471	0.230981993	0.438985145	0.698351804
Skew 60°	1501.437	2153.563	0.222601077	0.422333891	0.699547629

Dari olah data yang telah dilakukan, selanjutnya akan ditampilkan ke dalam bentuk grafik untuk mengetahui karakteristik dari masing-masing variasi model dan dilakukan analisa. Analisa terbagi menjadi analisa *thrust*, torsi, dan efisiensi terhadap sudut skew propeller.

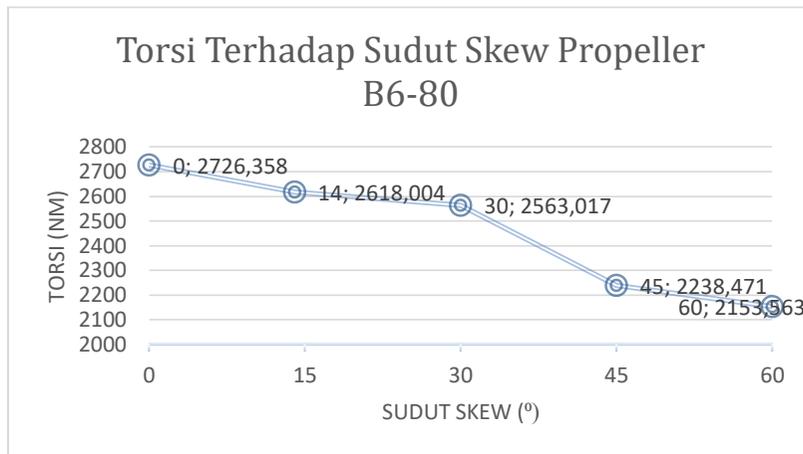
4.3.3 Analisa *Thrust* Terhadap Sudut Skew Propeller B6-80



Grafik 4.1 *Thrust* Terhadap Sudut Skew Propeller

Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa terjadi pengaruh karena peningkatan sudut skew terhadap *thrust*. Nilai *Thrust* mengalami penurunan di setiap penambahan sudut skew dari 0° sampai skew 60°. Pada sudut skew 30° ke 45° mengalami penurunan *thrust* yang cukup signifikan, dan dari 45° ke 60° juga mengalami penurunan namun tidak begitu besar. Sudut skew 0° memiliki nilai *thrust* yang paling tinggi dibanding sudut skew yang lain. Sedangkan sudut skew yang memiliki nilai *thrust* yang terendah adalah pada sudut skew 60°. Dari variasi yang telah dilakukan, dan dari grafik di atas dapat disimpulkan bahwa menaikkan sudut skew semakin memperkecil nilai *thrust*.

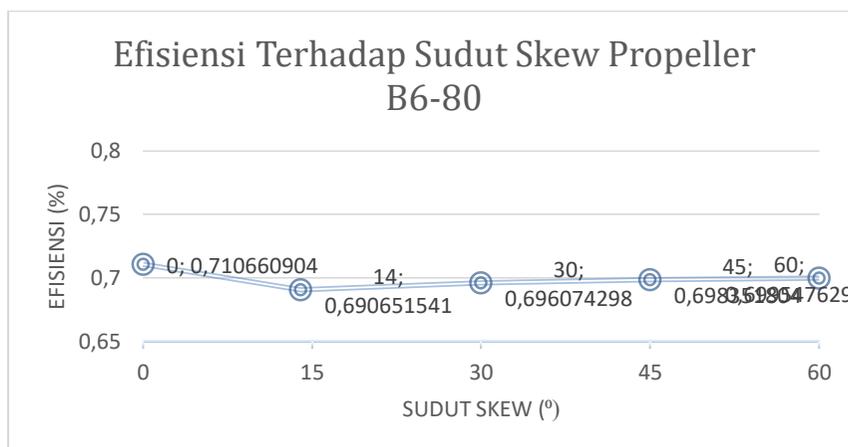
4.3.4 Analisa Torsi Terhadap Sudut Skew Propeller B6-80



Grafik 4. 2 Torsi Terhadap Sudut Skew Propeller

Dari grafik yang dapat dilihat di atas dapat dilihat bahwa pengaruh perubahan skew terhadap torsi mengalami *trendline* menurun. Nilai torsi mengalami penurunan yang cukup signifikan dari sudut skew 30° ke sudut skew 45°, dan kembali mengalami penurunan nilai torsi namun tidak begitu besar pada sudut skew 45° dan 60°. Sudut skew yang memiliki nilai torsi yang terendah adalah sudut skew 60°. Sedangkan sudut skew yang memiliki nilai torsi tertinggi adalah pada sudut skew 0°.

4.3.5 Analisa Efisiensi Terhadap Sudut Skew Propeller B6-80



Grafik 4. 3 Efisiensi Terhadap Sudut Skew Propeller

Dari grafik yang dapat dilihat di atas dapat dilihat bahwa pengaruh perubahan skew terhadap efisiensi. Meningkatkan sudut skew dapat memperbesar efisiensi

dibandingkan dengan sudut skew original (14°) seperti yang dapat dilihat pada skew 14° ke skew 60°. Sudut skew 0° memiliki nilai efisiensi yang paling tinggi dibandingkan sudut skew yang lain. Sedangkan yang memiliki nilai efisiensi yang terendah adalah sudut skew 14°.

4.3.6 Analisa Hasil Kavitasasi Terhadap Sudut Skew Propeller B6-80

Hasil simulasi kavitasasi pada software numeca fine marine dapat keluar dengan cara menambahkan cavitation fraction pada output dan additional model dengan memasukkan parameter angka kavitasasi. Dari tinjauan pustaka untuk menghitung angka kavitasasi menggunakan rumus berikut:

$$\sigma = \frac{p_0 - p_v}{\frac{1}{2} \rho v^2}$$

Dimana p_0 adalah tekanan kedalaman di tambah dengan tekanan atmosferic yaitu :

$$\sigma = \frac{p_{atm} + p_h - p_v}{\frac{1}{2} \rho v^2}$$

Dimana:

- p_{atm} = tekanan atmosfer
- p_h = tekanan kedalaman propeller
- p_v = tekanan vapor
- ρ = massa jenis air laut
- v = kecepatan pada 0.8R

Dengan :

- p_{atm} = 101325 Pa
- p_h = $\rho g h$
- ρ = 1025 kg/m³
- g = 9.807 m/s²
- h = 0.729 m

(Ref. ITTC hal.8)

- p_v = 1670.9 Pa

(Ref. ASHRAE table A-9)

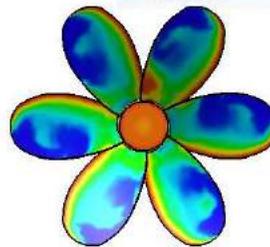
- Vapor density = 0.012849 kg/m³

- Vapor Viscos = 0.0000095921 Pa s

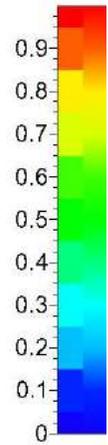
Dari rumus diatas didapatkan nilai angka kavitasasi sebesar 0.637553. Berikut merupakan hasil visual dari simulasi yang telah dilakukan pada masing-masing variasi skew propeller:

A. Variasi Skew 0°

NUMECA

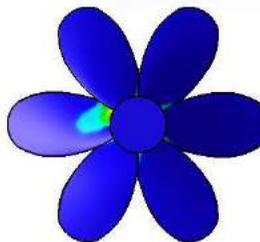


Cavitation Fraction

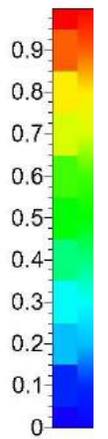


Gambar 4. 14 *Cavitation Fraction* Bagian Face Skew 0°

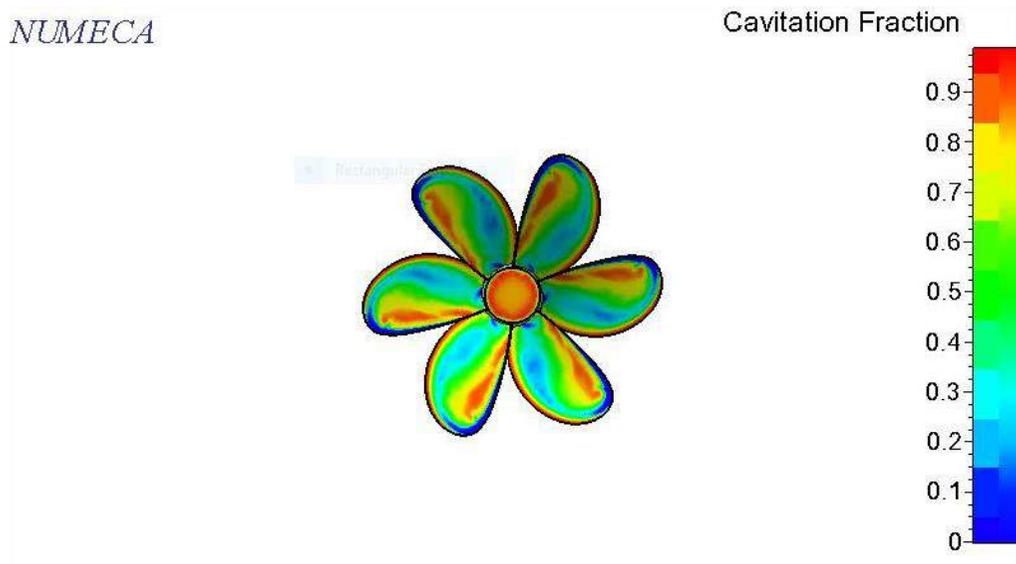
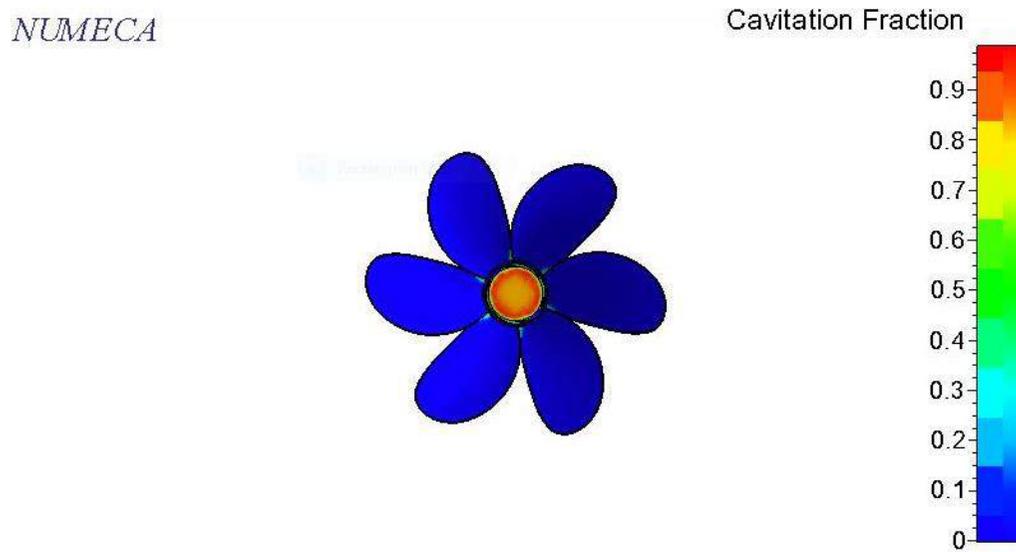
NUMECA



Cavitation Fraction

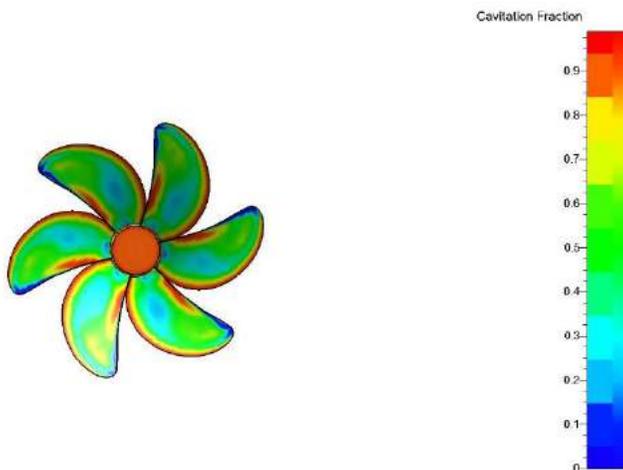


Gambar 4. 15 *Cavitation Fraction* Bagian Back Skew 0°

B. Variasi Skew 14°**Gambar 4. 16** *Cavitation Fraction* Bagian Face Skew 14°**Gambar 4. 17** *Cavitation Fraction* Bagian Back Skew 14°

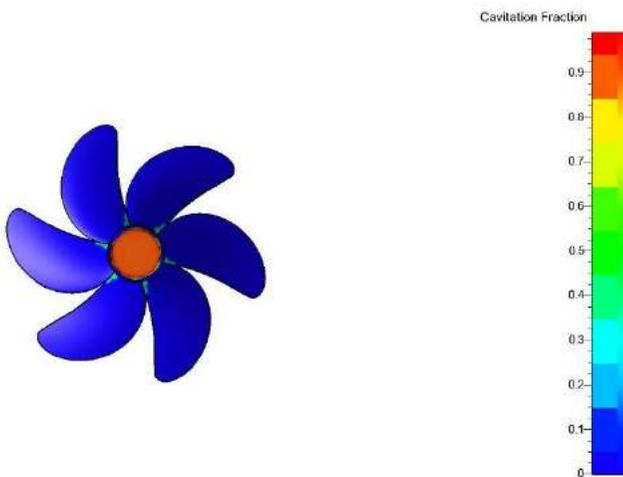
C. Variasi Skew 30°

NUMECA

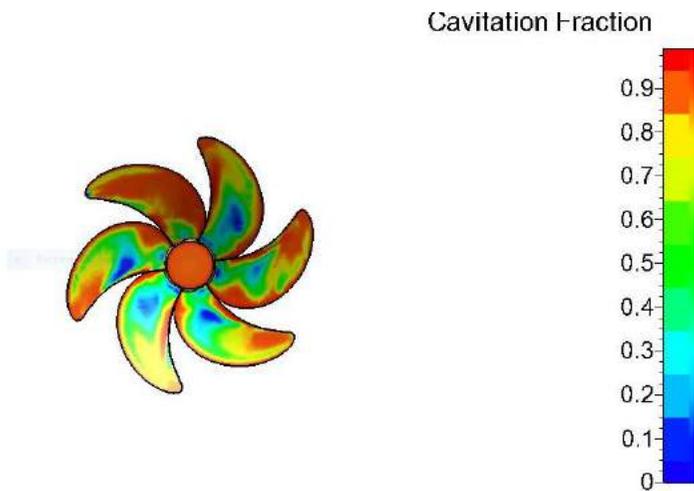
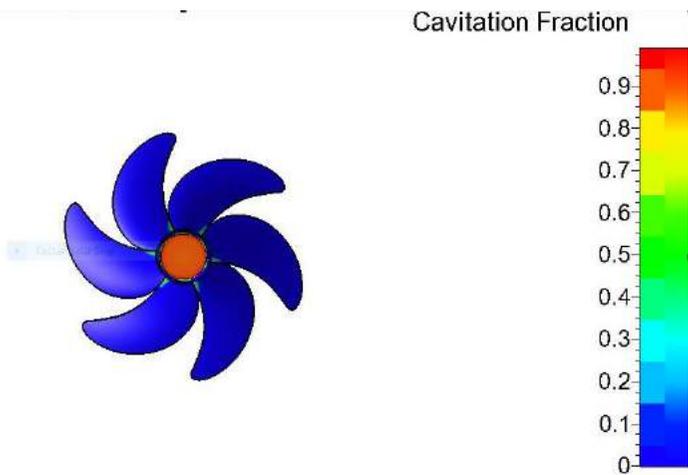


Gambar 4. 18 *Cavitation Fraction* Bagian Face Skew 30°

NUMECA

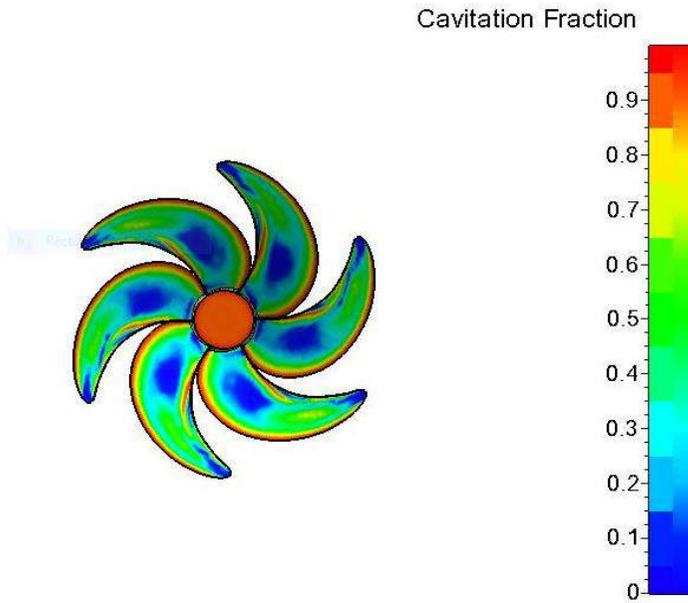


Gambar 4. 19 *Cavitation Fraction* Bagian Back Skew 30°

D. Variasi Skew 45°*NUMECA***Gambar 4. 20** *Cavitation Fraction* Bagian Face Skew 45°*NUMECA***Gambar 4. 21** *Cavitation Fraction* Bagian Back Skew 45°

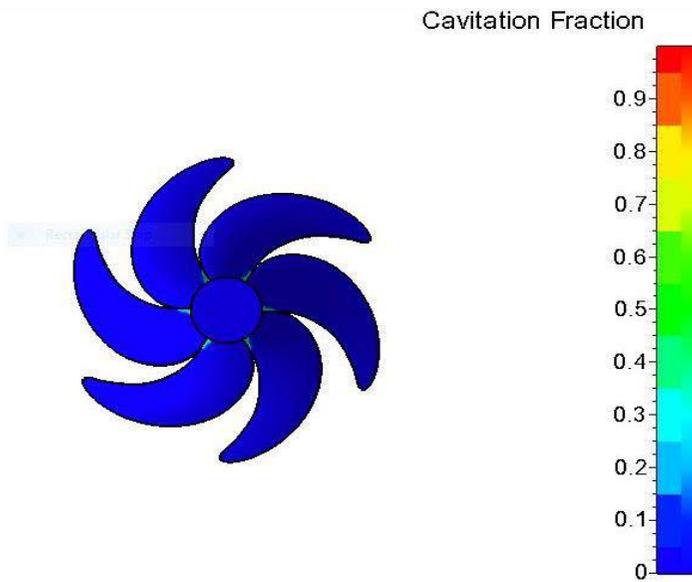
A. Variasi Skew 60°

NUMECA



Gambar 4. 22 *Cavitation Fraction* Bagian Face Skew 60°

NUMECA



Gambar 4. 23 *Cavitation Fraction* Bagian Back Skew 60°

Dari gambar *cavitation fraction* dapat dilihat potensi kavitasi dari masing-masing variasi sudut skew berdasarkan *countour* warna dari nilai range 0-1 pada bagian face dan back propeller. Dari hasil simulasi menunjukkan bahwa pada bagian face lebih berpotensi kavitasi dibandingkan dengan bagian back. Pada sudut skew original yaitu 14° menunjukkan bahwa potensi kavitasi yang dihasilkan cukup rendah sesuai perhitungan dari metode burril yang telah dilakukan sebelumnya. Dari gambar diatas juga dapat dilihat bahwa meningkatkan sudut skew dapat menurunkan potensi kavitasi pada sudut skew tertentu.

Pada sudut skew 0° mempunyai potensi kavitasi yang rendah pada umumnya namun begitu mencolok pada bagian *leading edge* karena pada bagian ini *pressure* yang terjadi cukup besar. Pada sudut skew 30° menunjukkan berkurangnya potensi kavitasi dibandingkan sudut skew yang sebelumnya yaitu pada propeller original B-Series dengan berkurangnya potensi kavitasi di bagian tengah daun. Sudut skew sebesar 45° mengalami peningkatan potensi kavitasi seperti yang dapat dilihat pada gambar dengan *countour* warna yang mencolok orange kemerahan. Potensi kavitasi mengalami penurunan kembali pada variasi sudut skew 60° , dengan berkurangnya potensi kavitasi pada bagian tengah daun dan beralih ke bagian tepi daun namun tidak terlalu besar potensi yang ditunjukkan.

BAB V – KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan variasi hasil percobaan dan simulasi yang telah dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Semakin besar sudut skew maka nilai dari *thrust* dan torsi menurun, namun hal ini berbanding terbalik terhadap nilai efisiensi yang mengalami *trendline* naik dengan semakin besarnya sudut skew.
2. Sudut skew yang mempunyai nilai *thrust*, torsi, dan efisiensi yang paling besar adalah pada sudut skew 0°. Performa yang dihasilkan adalah *thrust* sebesar 1930,979 kN (meningkat 7,1%), torsi sebesar 2726,358 kNm (meningkat 4,13%), dan efisiensi sebesar 0,71 (meningkat 2,8%) dibanding dengan sudut skew original.
3. Sudut skew yang mempunyai nilai *thrust* dan torsi yang paling kecil adalah pada sudut skew 60°. Performa yang dihasilkan adalah *thrust* sebesar 1501,4 kN (menurun 16,6%), torsi sebesar 2153,6 kNm (menurun 17,7%), dan efisiensi sebesar 0,669 (meningkat 1,28%) dibanding dengan sudut skew original.
4. Meningkatkan besar sudut skew dapat memperkecil potensi kavitas pada sudut skew tertentu.
5. Sudut skew yang memiliki nilai *thrust*, torsi, dan efisiensi yang cukup tinggi dan memiliki potensi kavitas yang cukup rendah adalah pada sudut skew 0°.

5.2 Saran

Setelah proses pengerjaan selesai maka dapat diberikan beberapa saran yang diharapkan dapat bermanfaat dalam penelitian lebih lanjut lagi mengenai sudut skew:

1. Perlu dilakukan lebih detail lagi mengenai jumlah variasi sudut skew propeller agar nantinya dapat menjadi *database* dalam analisa dan penelitian yang lebih komprehensif.
2. Peneliti selanjutnya dapat memperbanyak jumlah cell agar hasil yang disimulasikan pada CFD dapat mendapatkan hasil validasi yang cukup akurat dengan mengurangi margin error.
3. Untuk mendapatkan jumlah cell yang banyak dan dapat disimulasikan dengan baik serta lancar agar tidak *crashed* saat *running*, maka diharapkan memiliki spesifikasi komputer yang mumpuni sesuai dengan *minimum requirement* dari software CFD.

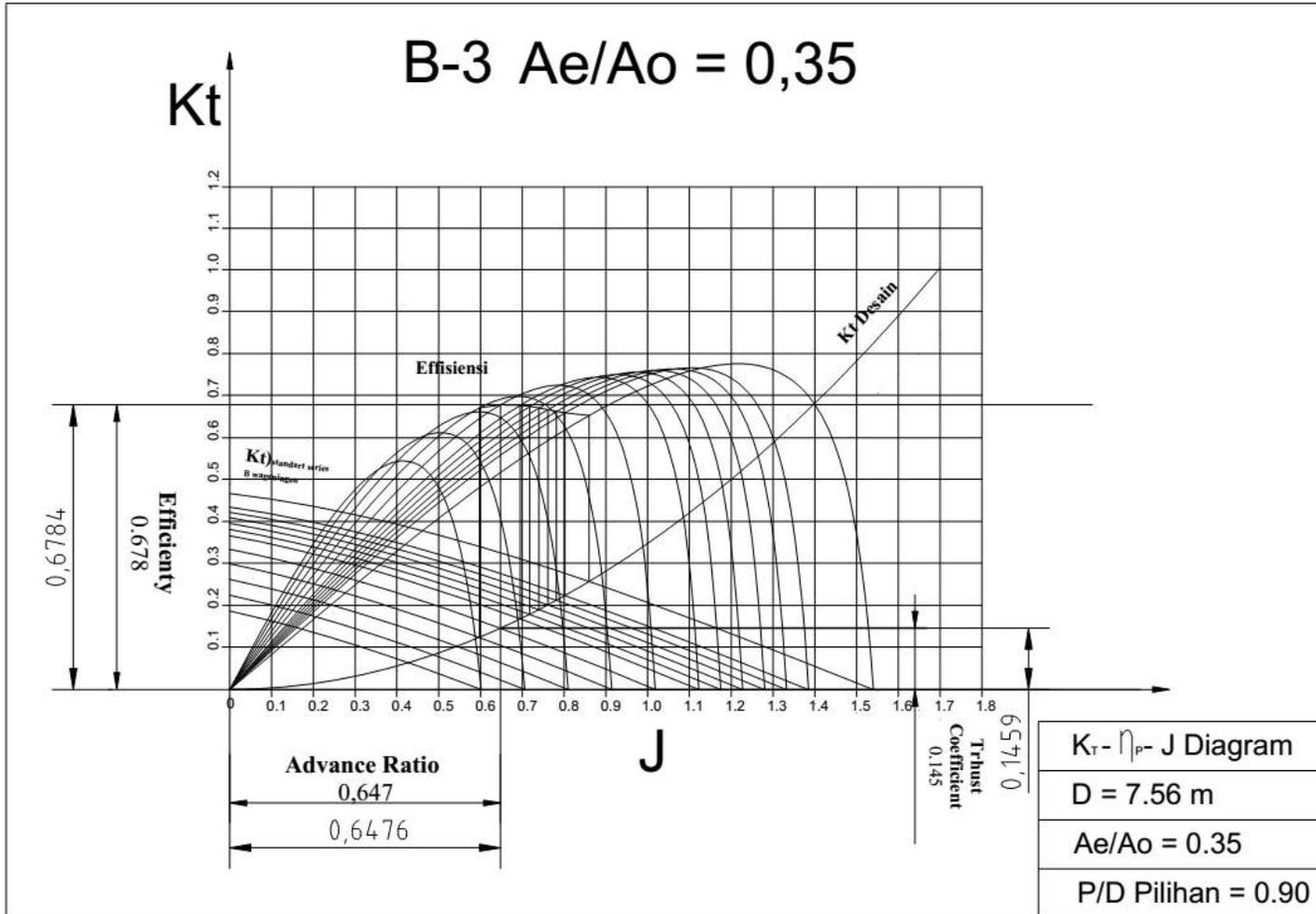
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

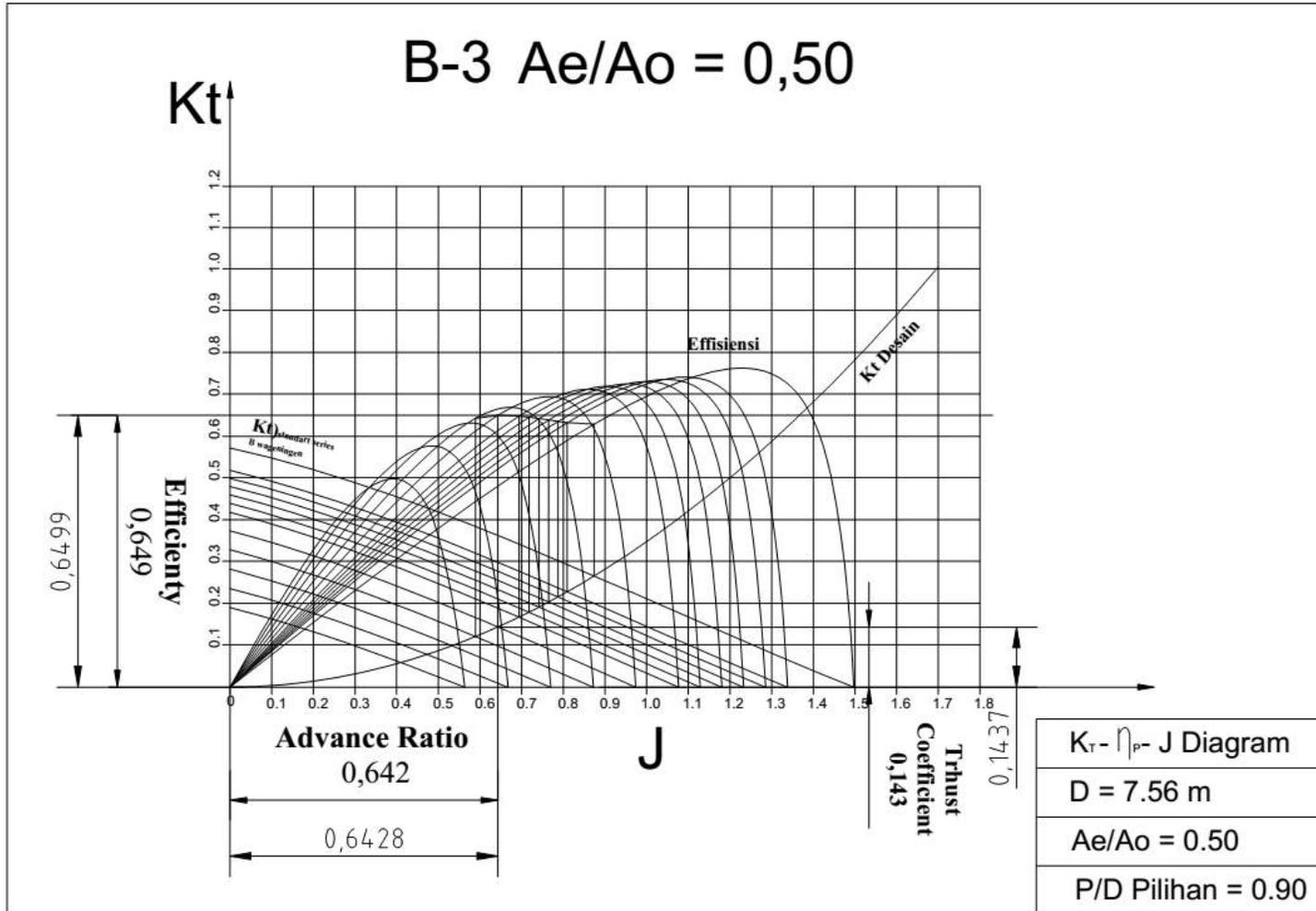
DAFTAR PUSTAKA

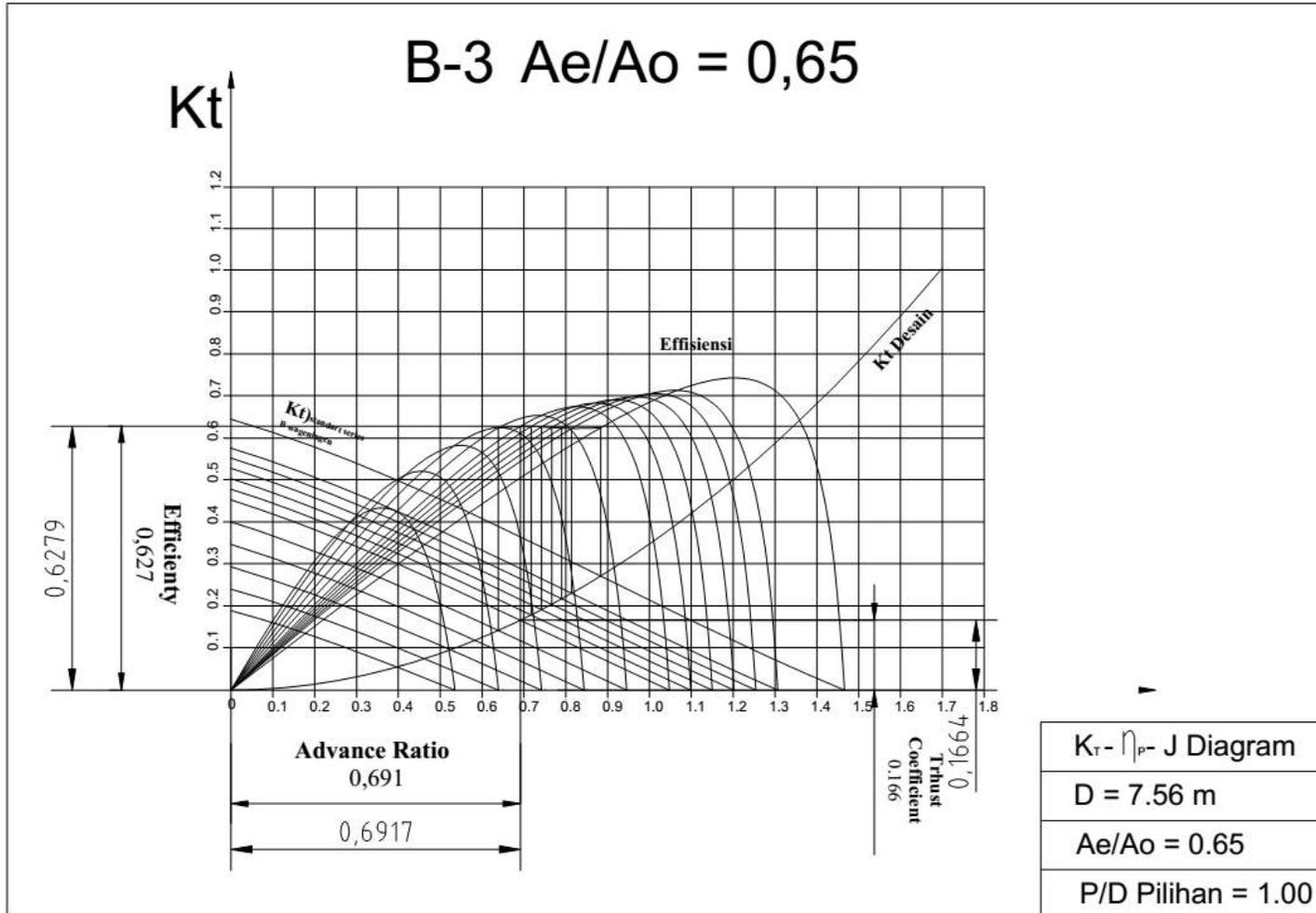
- Charlton, J. (2007). *Marine Propeller and Propulsion*. Elsevier: Oxford University.
- Donald R. Smith, J. E. (1988). *The Geometry Of Marine Propellers*. Defence Research Establishment Atlantic.
- Gahaassemi, G. (2009). *The Effect of Wake Flow and Skew Angle on the Ship Propeller Performance*. Sharif University of Technology.
- Huda, R. (2011). *Analisa Pengaruh Skew Angle Terhadap Performa Propeller Dengan Pendekatan CFD*. Surabaya: Tugas Akhir, Departemen Teknik Sistem Perkapalan ITS.
- Kuiper, G. (1992). *Wageningen Propeller Series*. Netherland: Maritim Research Institute.
- Lewis, E. V. (1988). *Principle Of Naval Architecture Volume II*. Jersey City: The Society of Naval Architects and Marine Engineers 601 Pavonia Avenue.
- Mossad. (2011). *Skewed Propeller Design For Minimum Induced Vibrations. International Symposium on Naval Architecture*.
- Prihandanu, R. B. (2018). *Analisa Pengaruh Sudut Skew Terhadap Noise Pada Propeller Kapal Selam Dengan Menggunakan Metode Computational Fluid Dynamic*. Surabaya: Tugas Akhir, Departemen Teknik Sistem Perkapalan ITS.
- Robert, B. (1971). *Design, Cavitation Performance, and Open Water Performance of A Series of Research Skewed Propellers*. Washington: Department Of The Navy Naval Ship Research and development Center.
- Robert, B. (1974). *Design and Evaluation of A Highly Skewed Propeller For A Cargo Ship*. Washington: Department Of The Navy Naval Ship Research And Development Center.

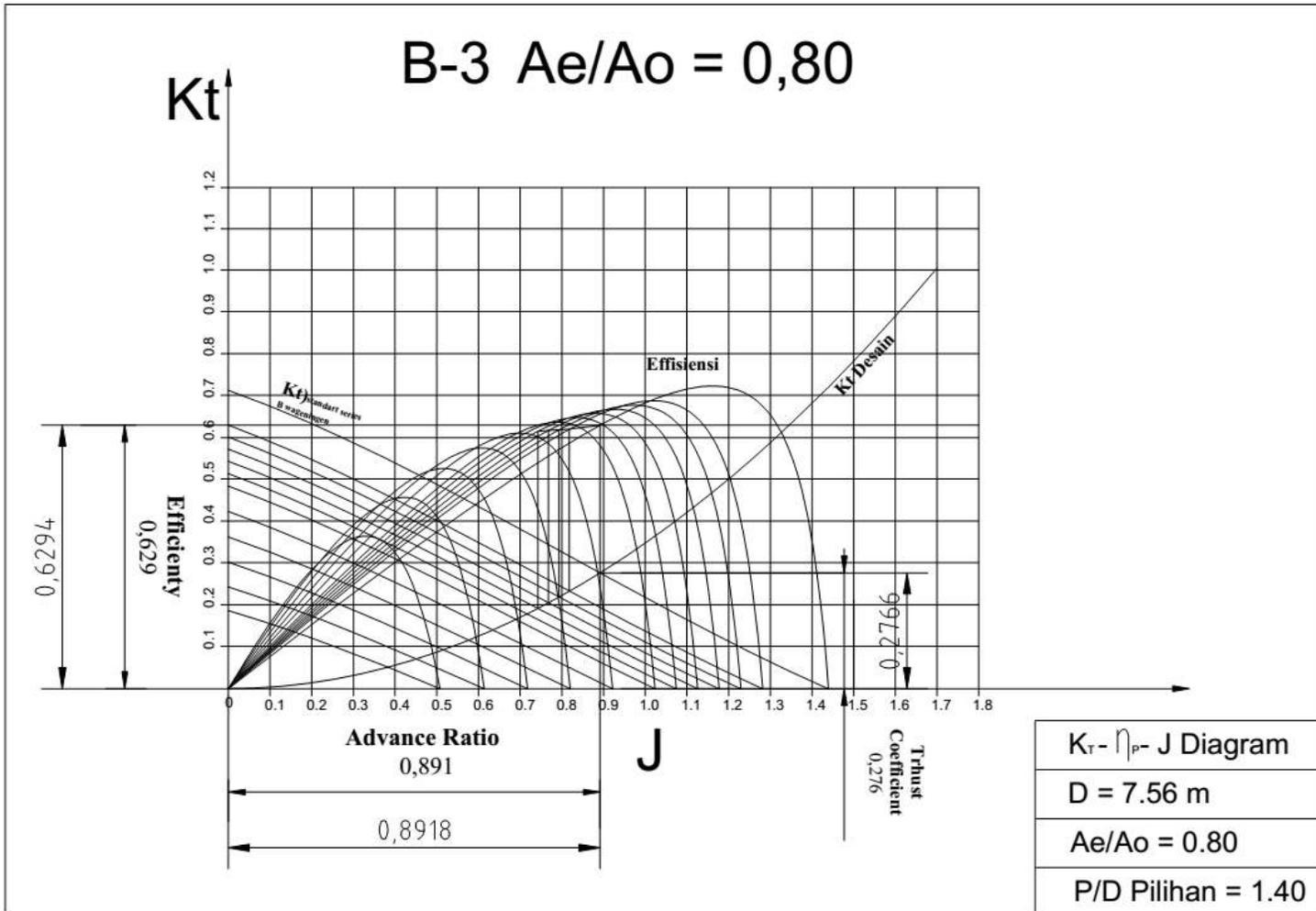
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

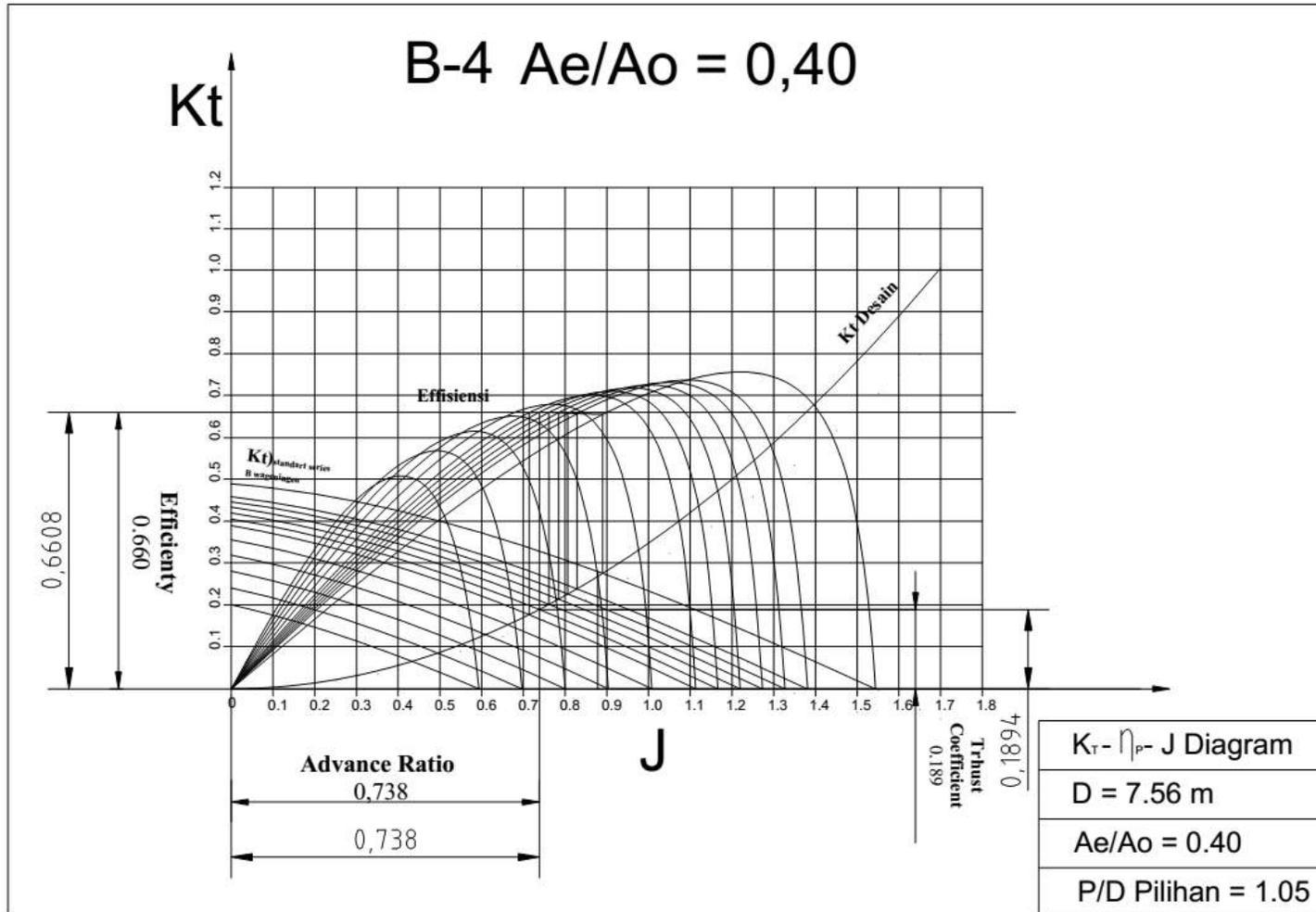
LAMPIRAN-LAMPIRAN

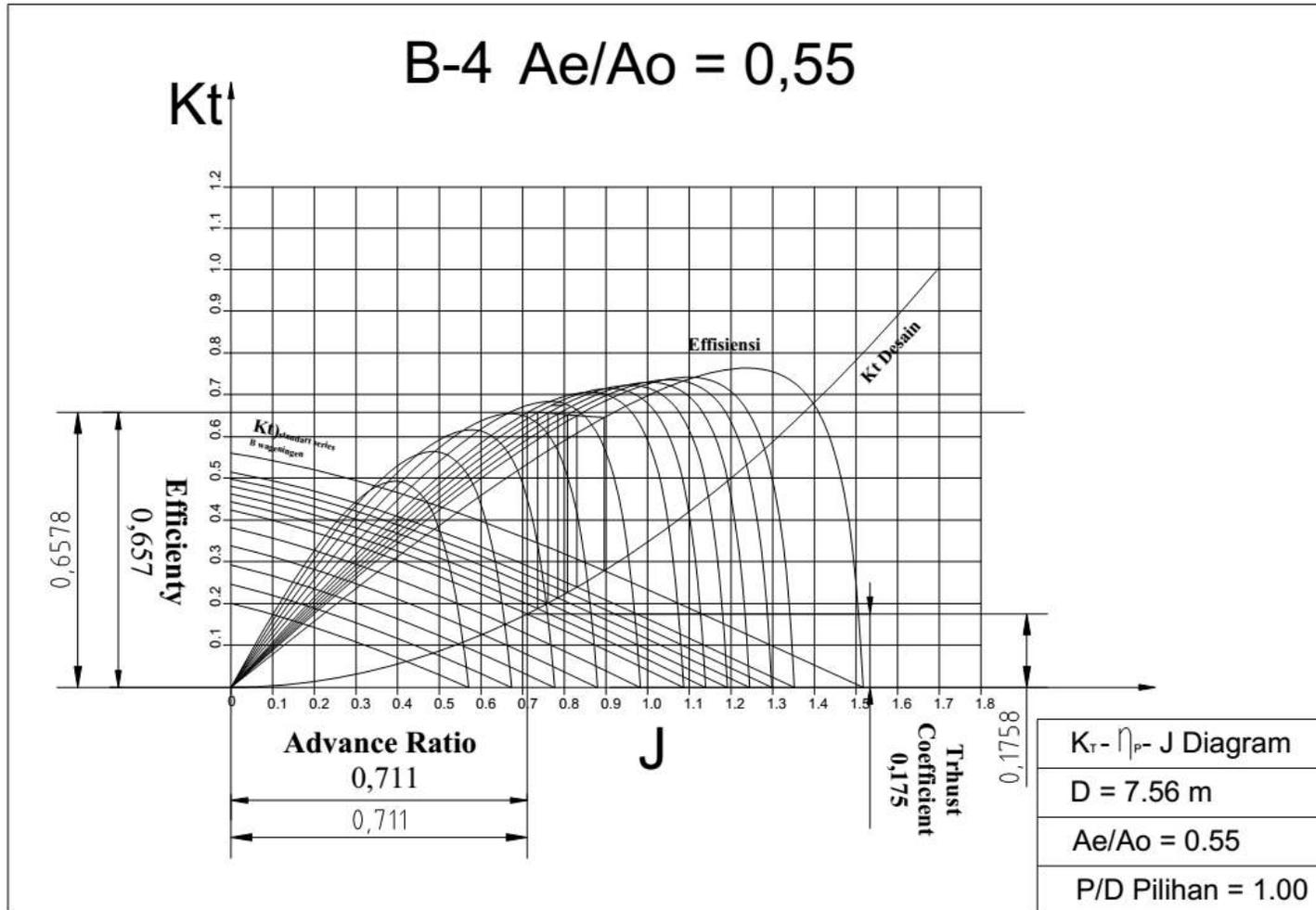


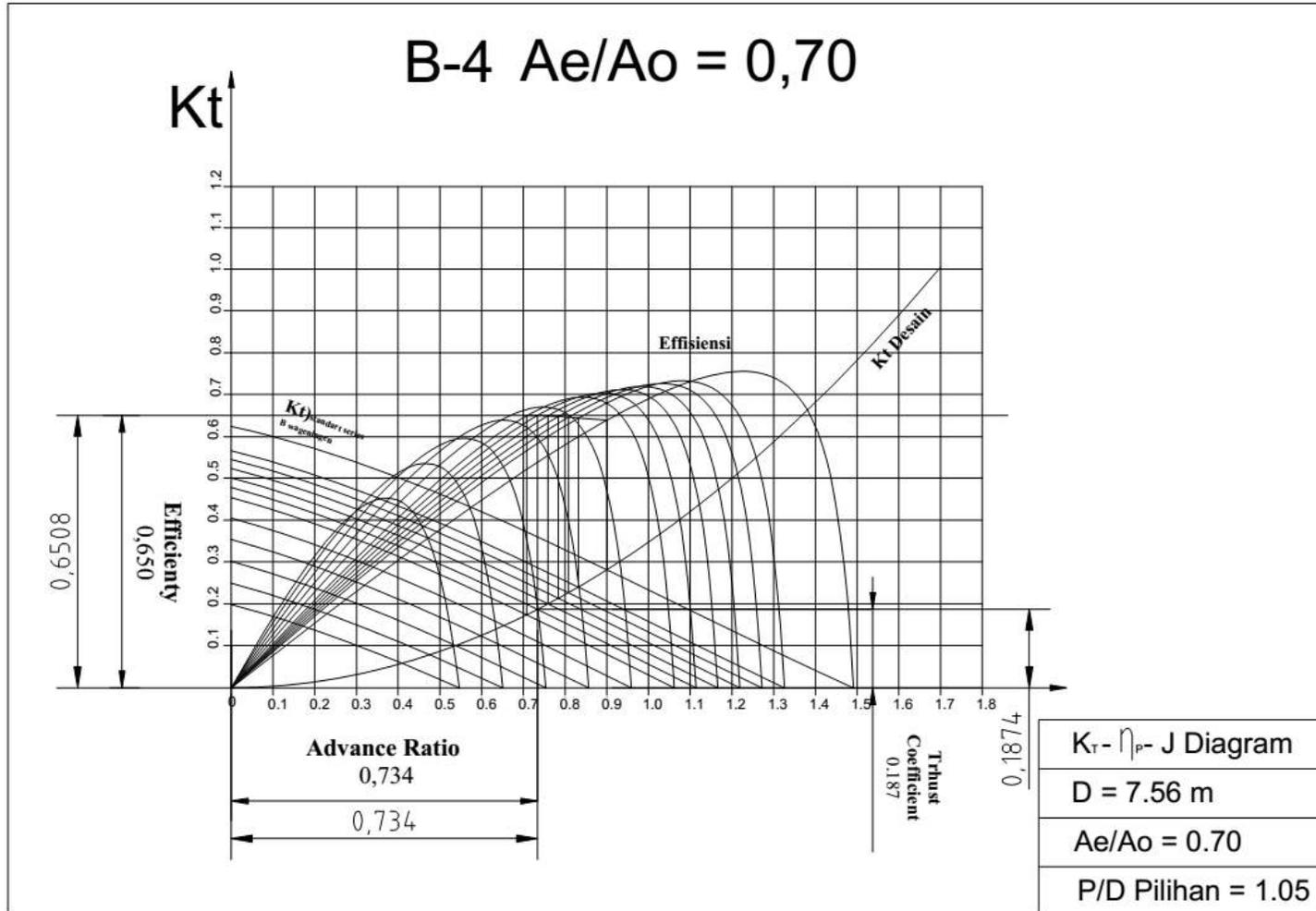


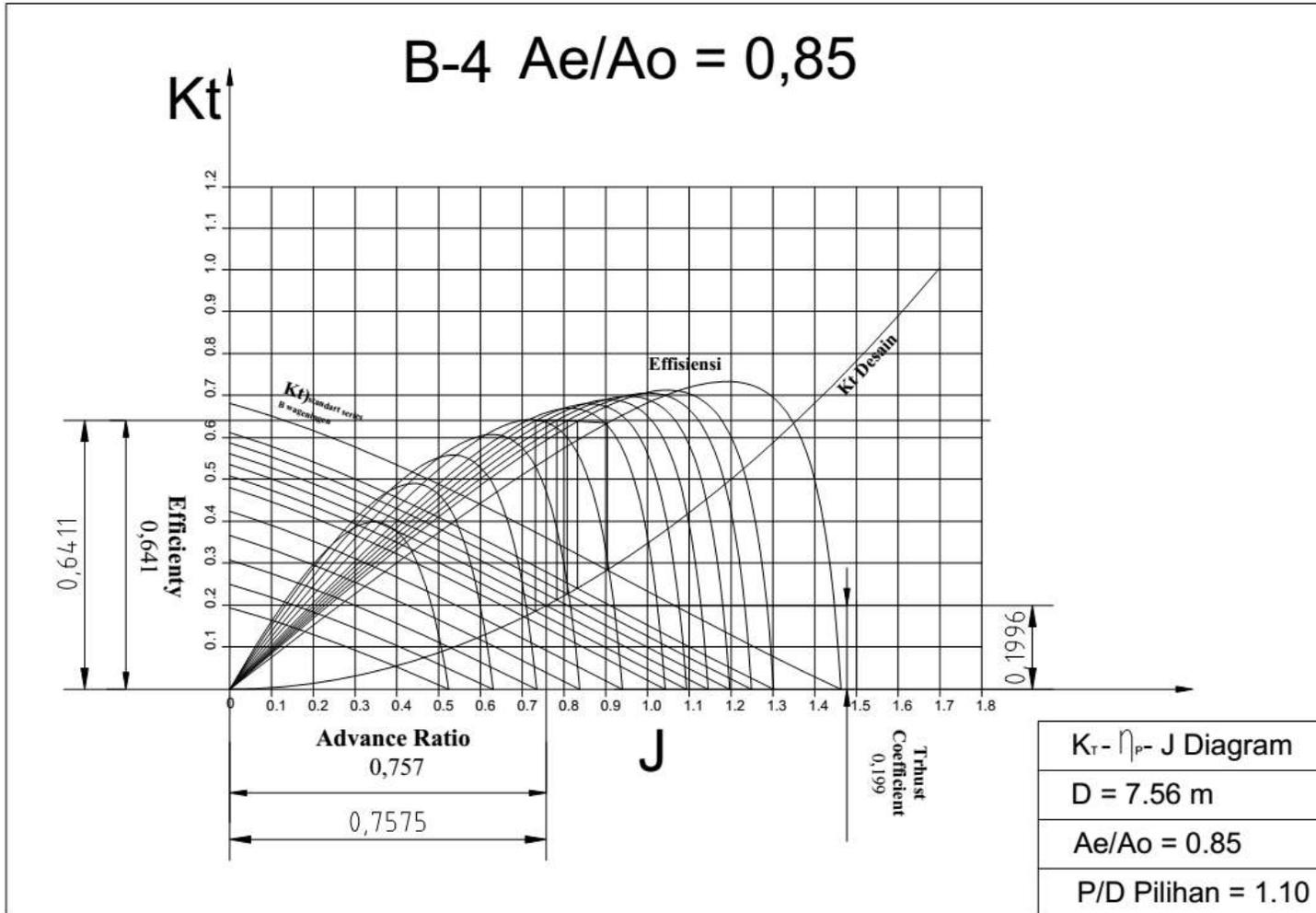


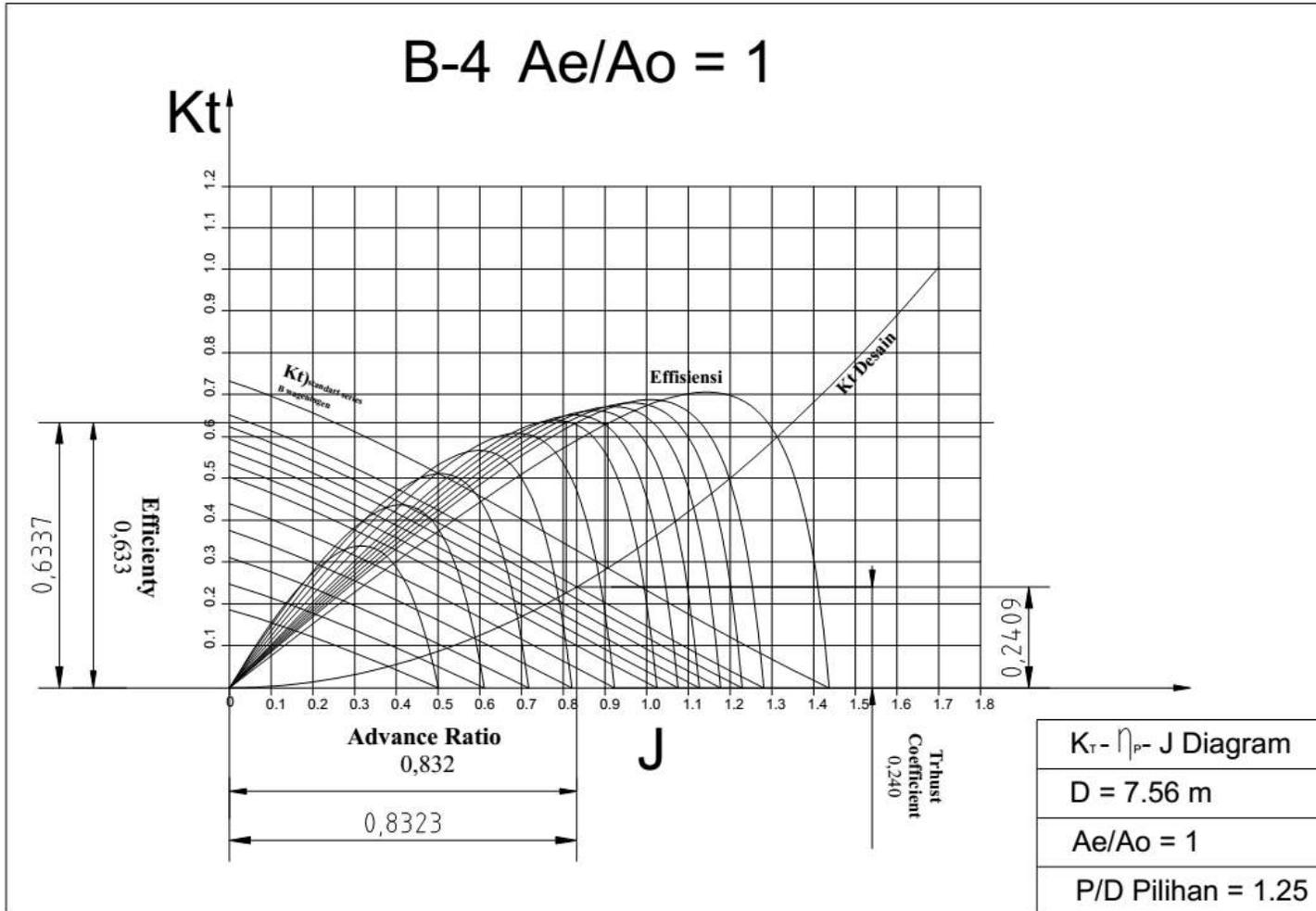


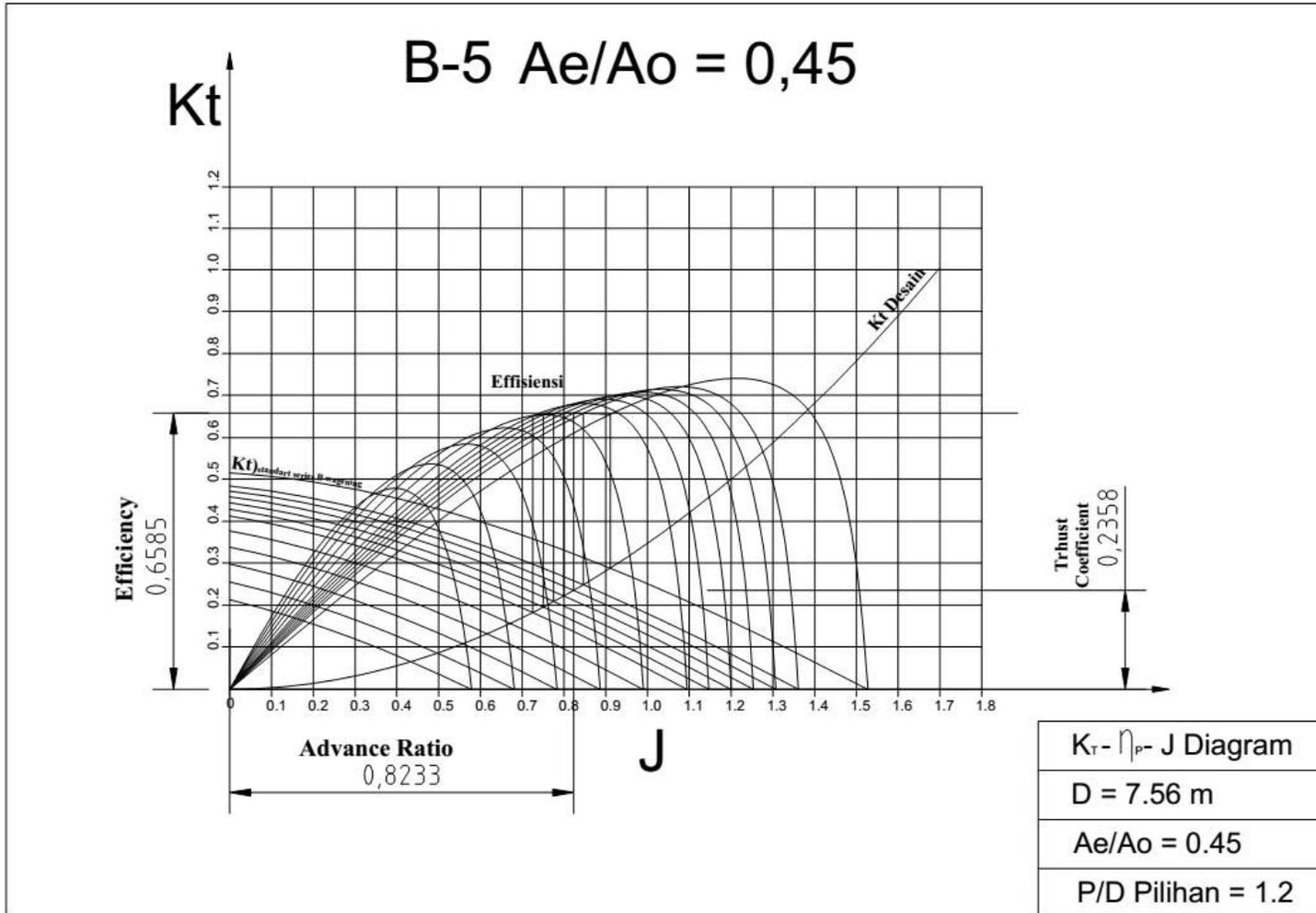


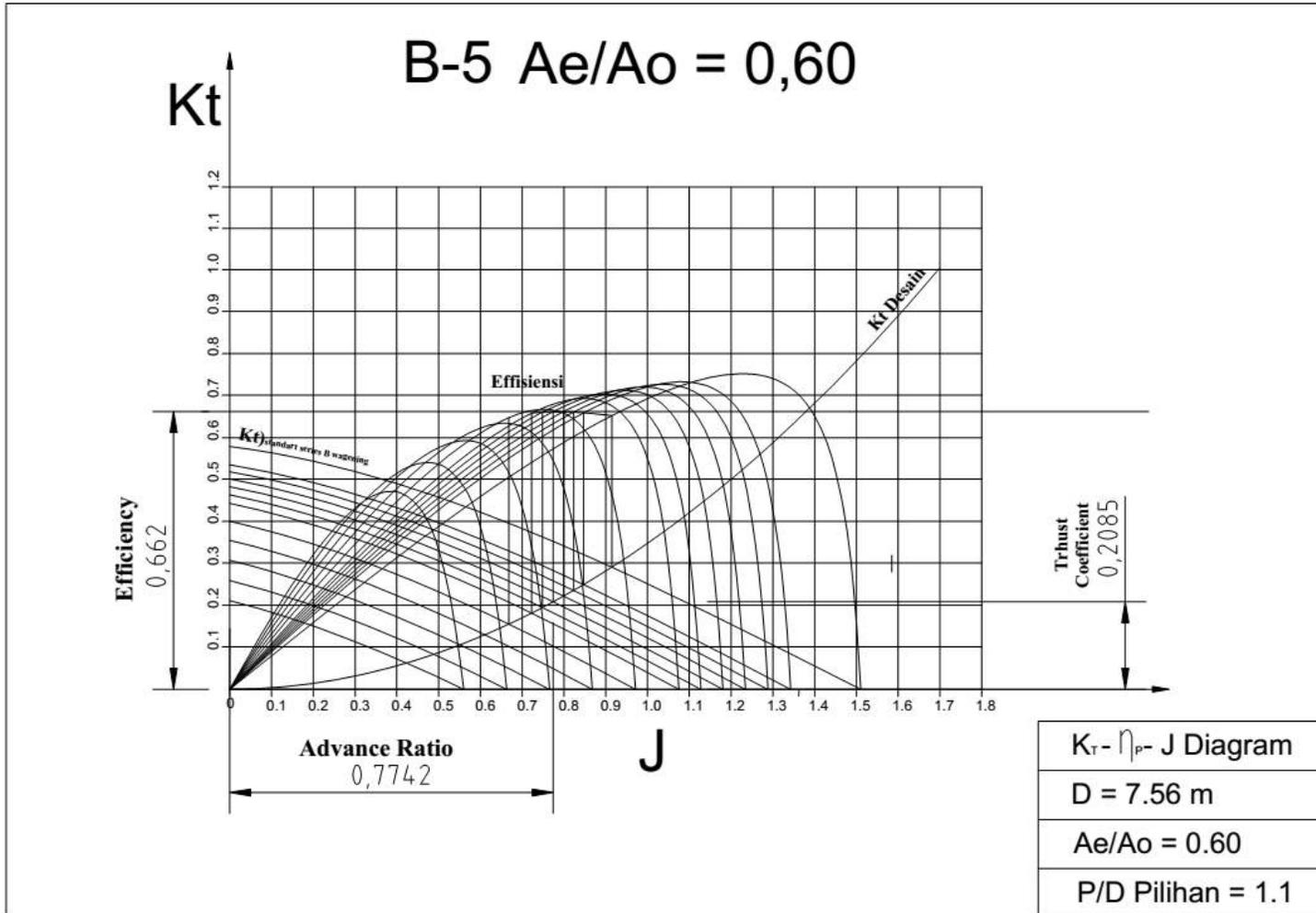


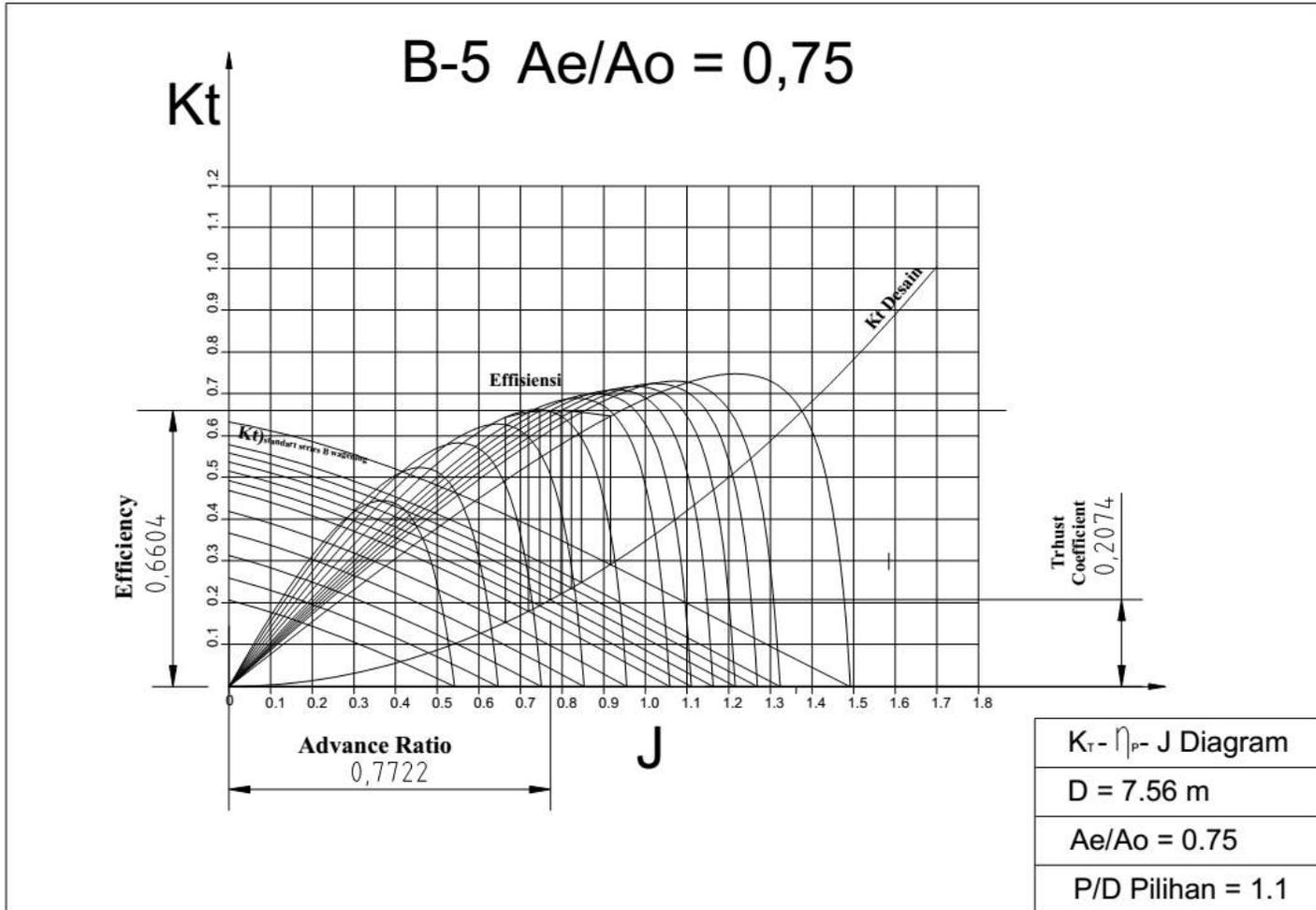


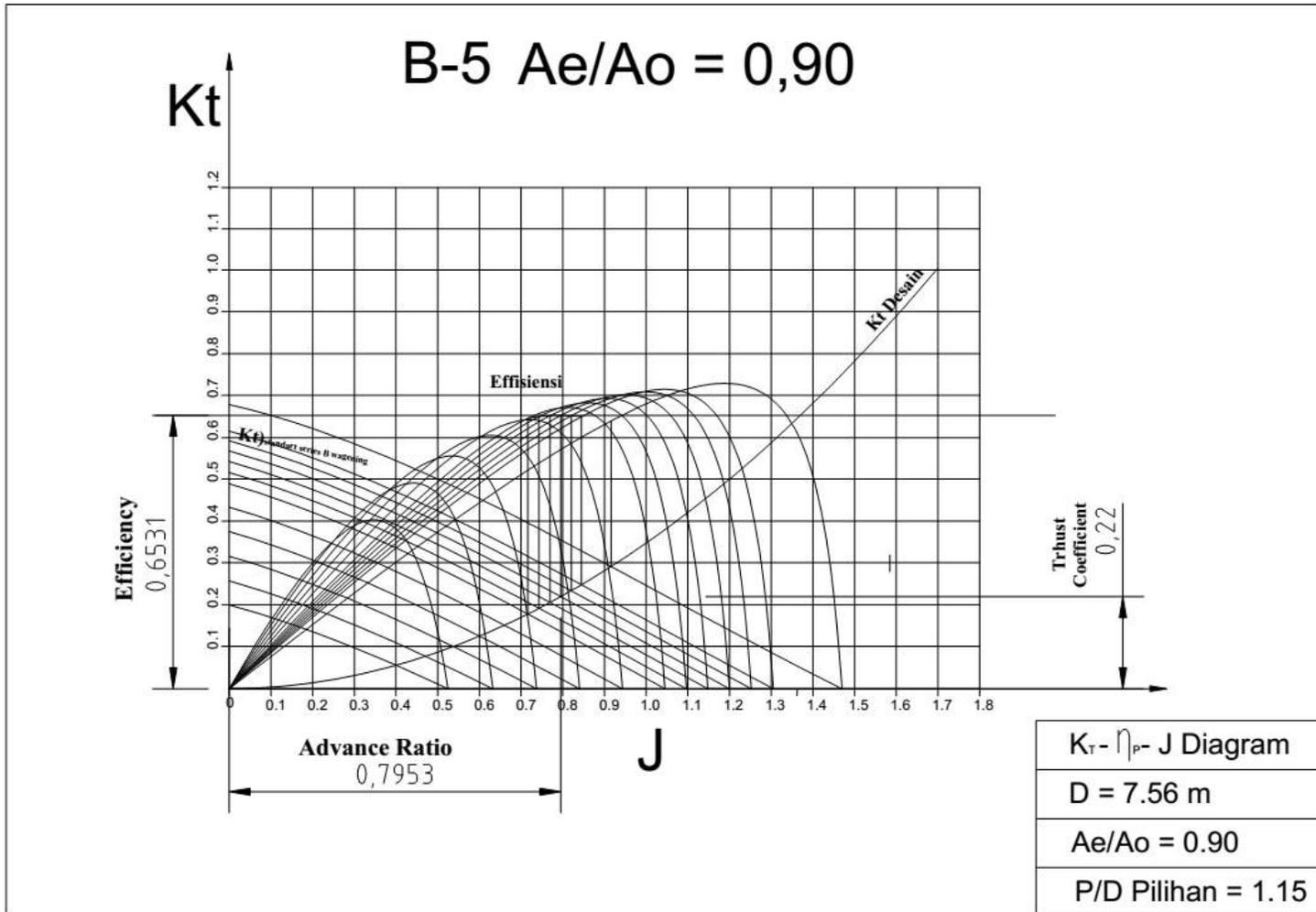


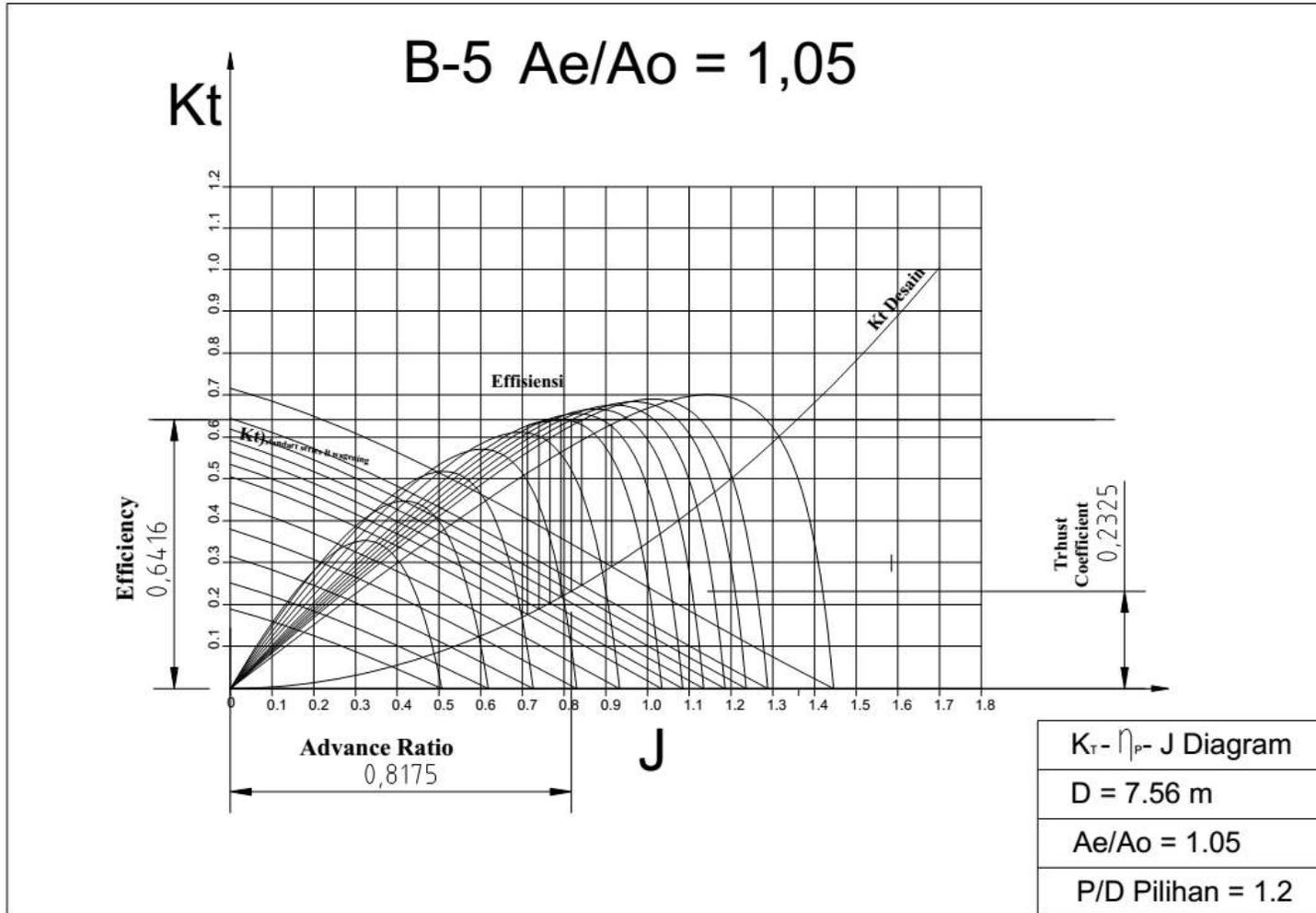


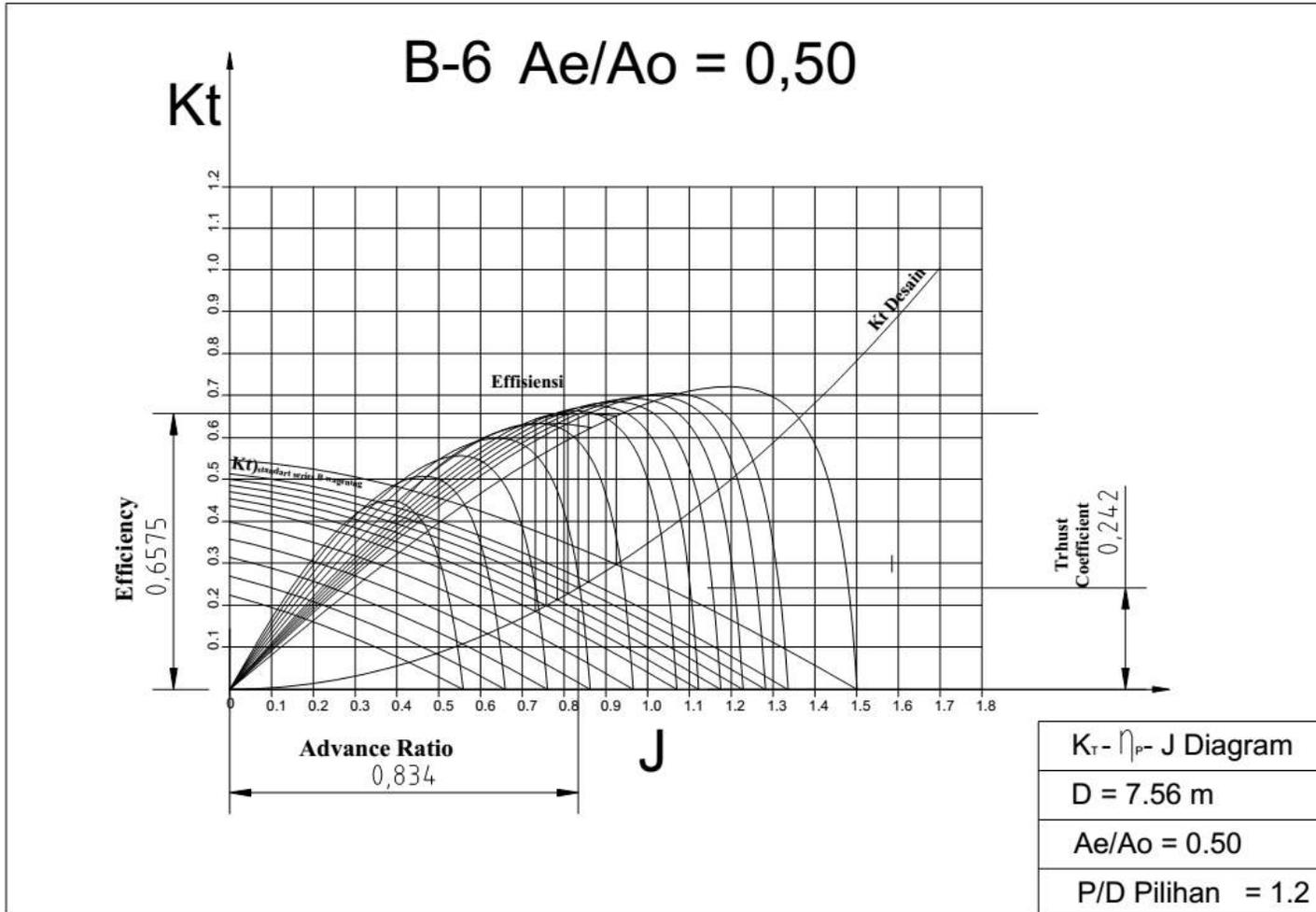


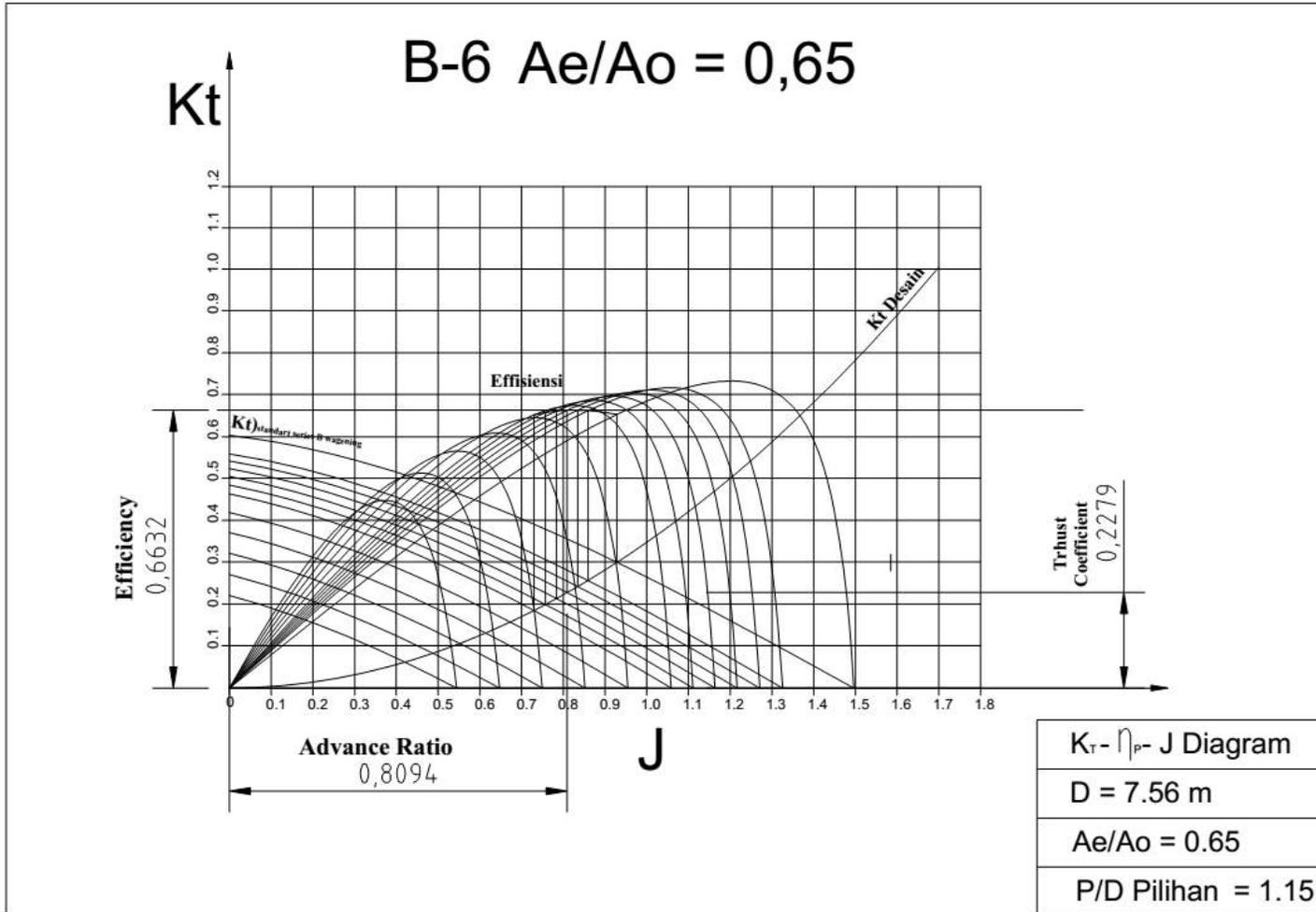


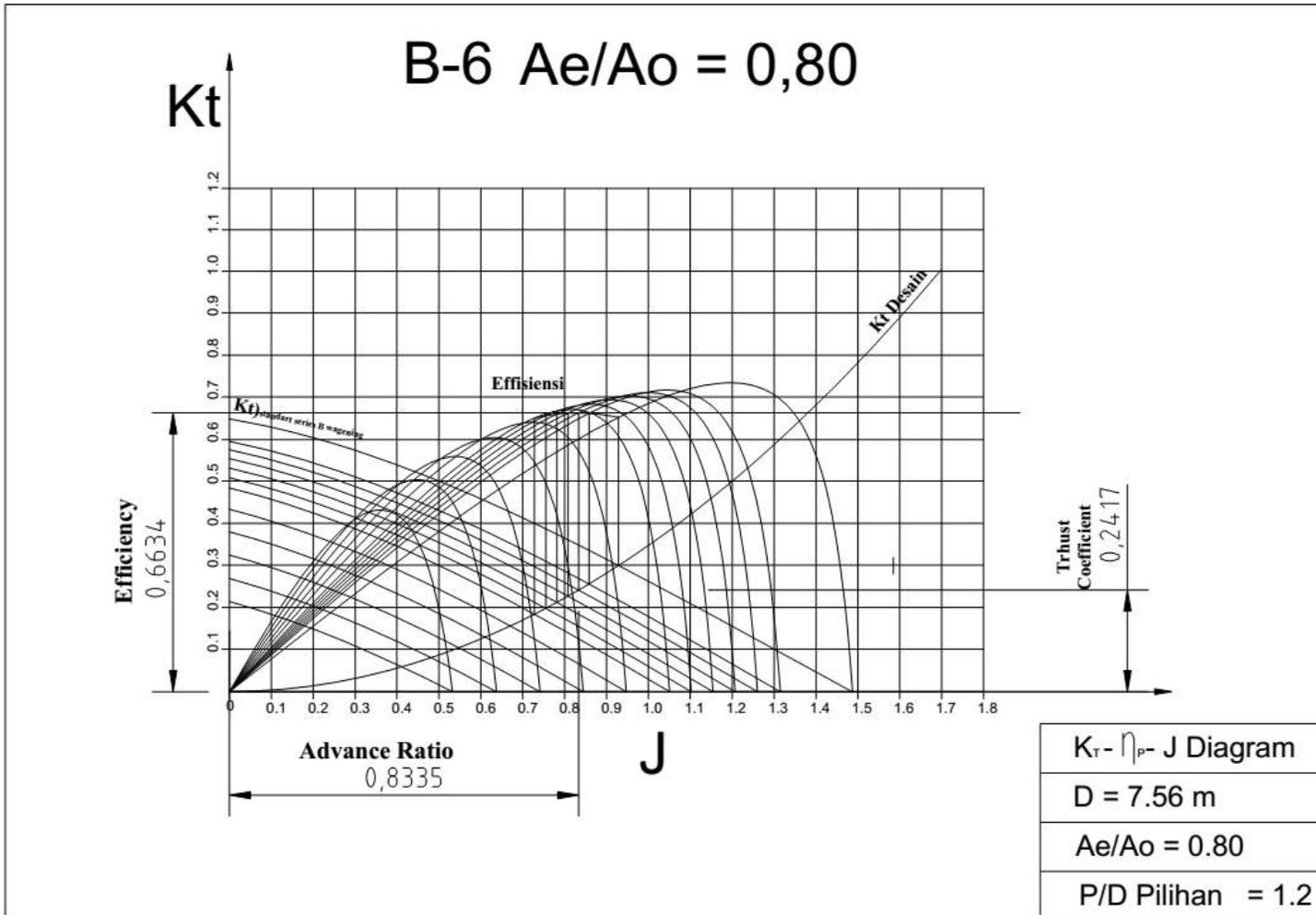


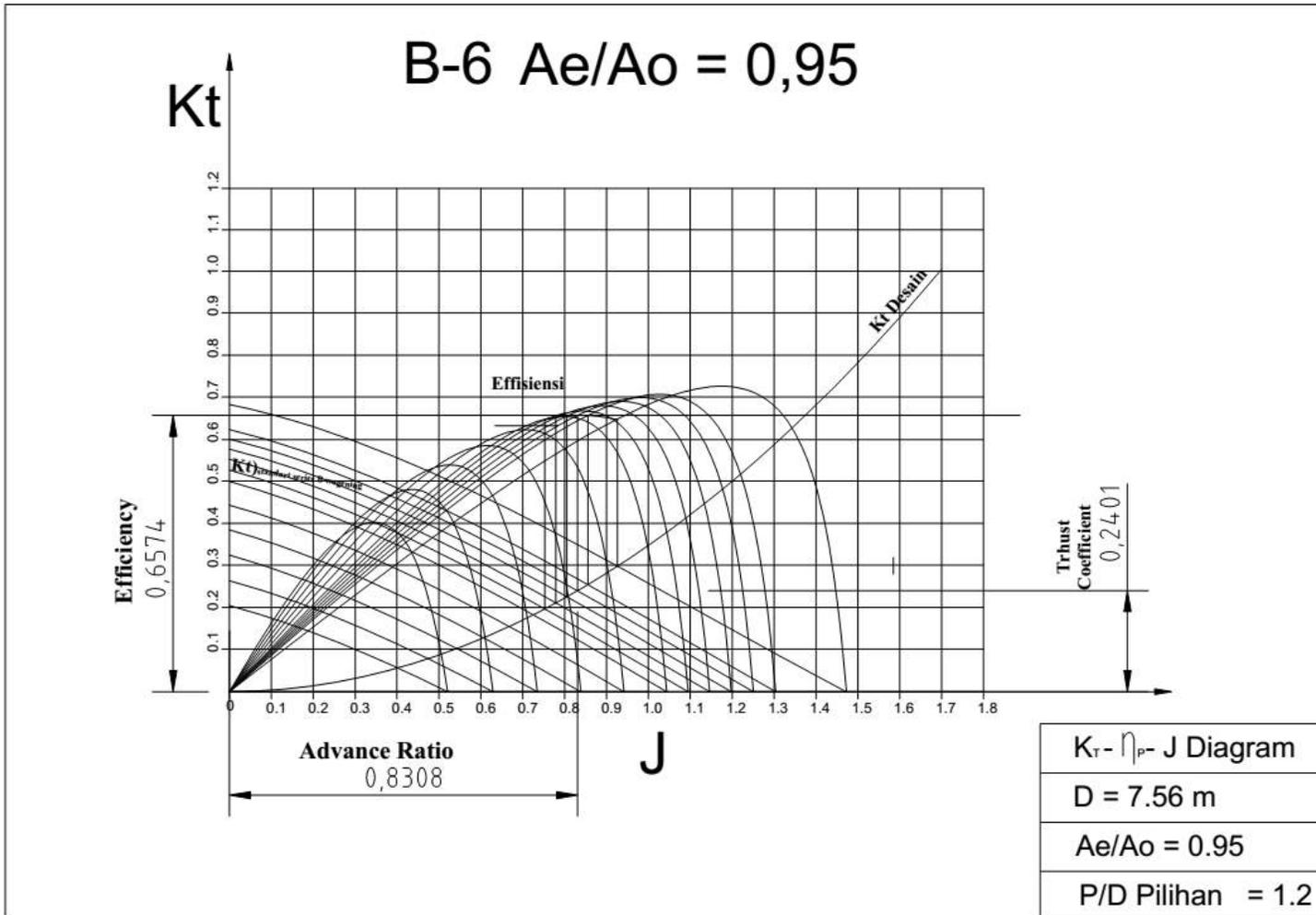




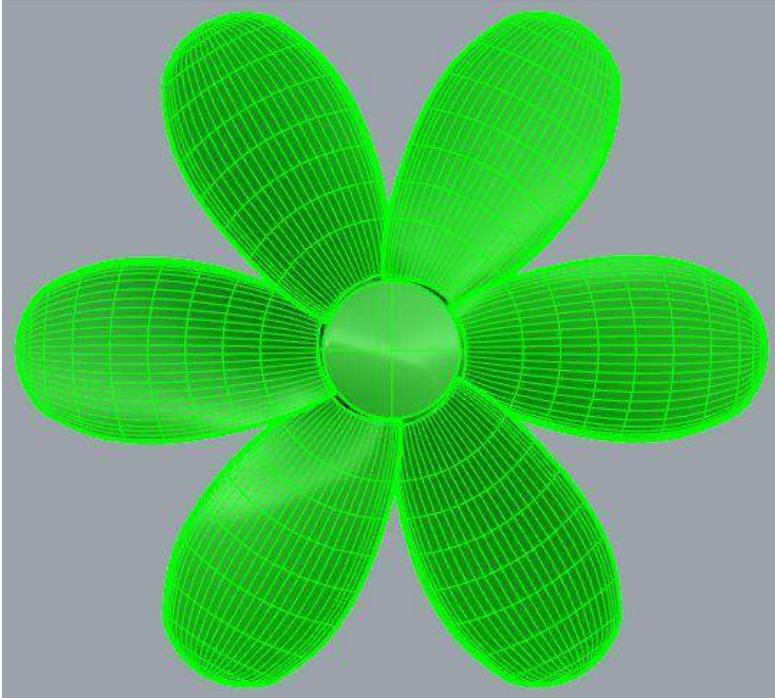




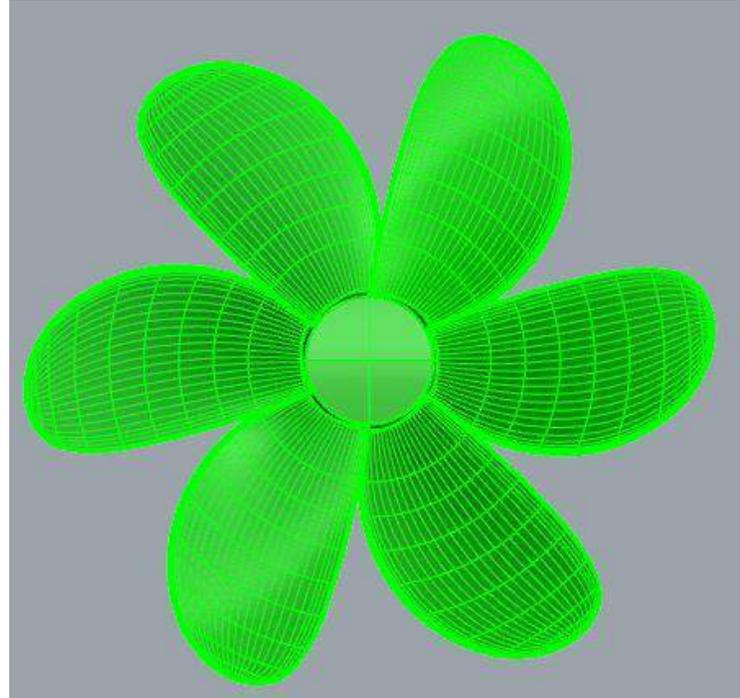




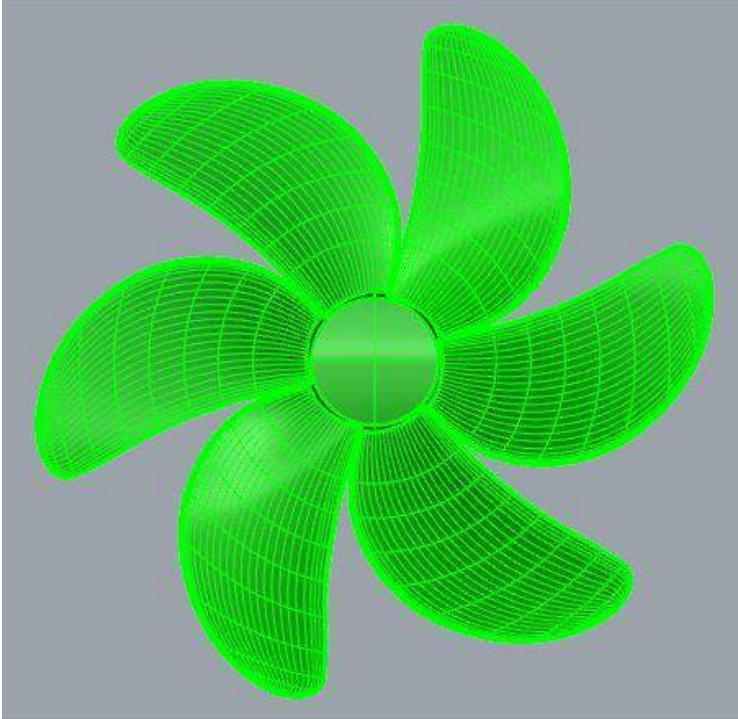
Skew 0°



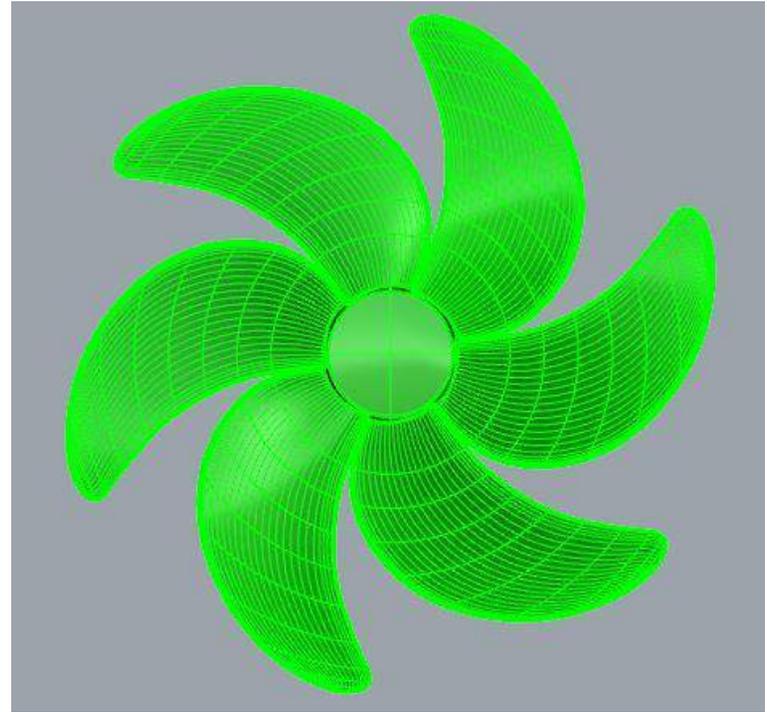
Skew 14°



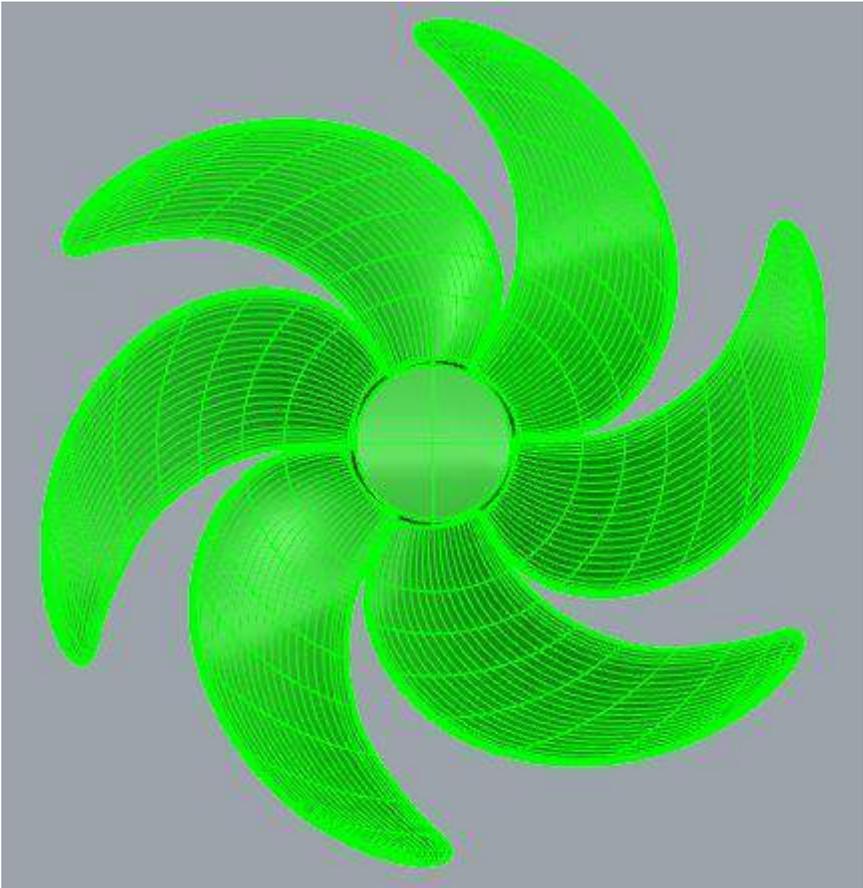
Skew 30°



Skew 45°



Skew 60°



BIODATA PENULIS



Penulis lahir di Bojonegoro, 26 Januari 1995, penulis adalah anak pertama dari dua bersaudara dan menempuh pendidikan formal di SDN Ngumpakdalem III, SMPN 1 Bojonegoro, dan SMAN 4 Bojonegoro. Penulis lulus dari SMAN 4 Bojonegoro pada 2013, kemudian melanjutkan ke ke jenjang diploma III di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya (PPNS), Prodi Teknik Perancangan dan Konstruksi Kapal hingga tahun 2016. Penulis melanjutkan studi ke jenjang sarjana, dan diterima di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Fakultas Teknologi Kelautan, Departemen Teknik Sistem Perkapalan pada tahun 2016 dan terdaftar dengan nomor mahasiswa 04211646000006.

Penulis memiliki minat belajar, tidak hanya di kelas tetapi juga dengan melakukan pelatihan kerja, dibuktikan dengan pelatihan kerja di perusahaan galangan kapal, PT. Dok dan Perkapalan Surabaya (DPS) pada tahun 2015. Penulis juga aktif dalam berorganisasi mulai dari SMA menjadi pengurus OSIS selama dua periode dan menjadi anggota KPU Presiden BEM sebagai badan pengawas pemilu. Penulis mengambil Laboratorium Marine Manufacturing and Design (MMD) atas perhatiannya untuk melakukan penelitian untuk proyek tugas akhir ini. Selama belajar di Departemen Teknik Sistem Perkapalan, penulis berharap menjadi orang yang sabar, memiliki kepribadian yang baik, ramah kepada semua orang, dan membantu bagi keluarga, negara, dan masyarakat.

Kontak penulis:

Email : miskliiska@gmail.com

“Halaman ini sengaja dikosongkan”