SKRIPSI – ME141501

ANALISA KAVITASI *SURFACE* PADA DAUN *PROPELLER WAGENINGEN SERIES* C4-40 DENGAN CFD

Maful Suranto
NRP 04211645000003

Dosen Pembimbing
Irfan Syarif Arief, S.T.,M.T.
Achmad Baidowi, S.T.,M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018

SKRIPSI – ME 141501

ANALISA KAVITASI *SURFACE* PADA DAUN *PROPELLER WAGENINGEN SERIES* C4-40 DENGAN CFD

Maful Suranto
NRP 04211645000003

Dosen Pembimbing
Irfan Syarif Arief, S.T.,M.T.
Achmad Baidowi, S.T.,M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

SKRIPSI – ME 141501

ANALISA KAVITASI *SURFACE* PADA DAUN *PROPELLER WAGENINGEN SERIES* C4-40 DENGAN CFD

Maful Suranto
NRP 04211645000003

Dosen Pembimbing
Irfan Syarif Arief, S.T.,M.T.
Achmad Baidowi, S.T.,M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA KAVITASI *SURFACE* PADA DAUN *PROPELLER* *WAGENINGEN SERIES* C4-40 DENGAN CFD

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:
MAFUL SURANTO
NRP 0421 16 4500 0003

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

1. Irfan Syarif Arief, S.T.,M.T.
   NIP. 196912251997021001

2. Achmad Baidowi, S.T.,M.T.
   NIP.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA KAVITASI *SURFACE* PADA DAUN *PROPELLER WAGENINGEN SERIES* C4-40 DENGAN CFD

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:
MAFUL SURANTO
NRP 0421 16 4500 0003

Disetujui oleh Kepala Departemen
Teknik Sistem Perkapalan:

Dr. Eng. M. Badrus Zaman, S.T., M.T.
NIP. 197708022008011007

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

ANALISA KAVITASI *SURFACE* PADA DAUN *PROPELLER WAGENINGEN SERIES* C4-40 DENGAN CFD

Nama Mahasiswa : Maful Suranto
NRP : 04211645000003
Departemen : Teknik Sistem Perkapalan
Dosen Pembimbing I : Irfan Syarif Arief, S.T.,M.T.
Dosen Pembimbing II : Achmad Baidowi, S.T.,M.T.

ABSTRAK

Saat ini banyak kapal dilengkapi dengan CPP dan juga CPP ducted, baik untuk kapal maupun lepas pantai. Kinerja off-design dari CPP tidak hanya penting untuk performa powering kapal, namun juga untuk dynamic positioning dan manuver kapal tersebut. Disebabkan oleh kurangnya informasi pada sistematis untuk CPP dalam kasus tersebut, data B-series sering digunakan sebagai gantinya, baik untuk estimasi di tahap desain awal dan juga sebagai data akhir yang dikirim desain CPP baru yang spesifik, hanya karena tidak ada yang data lain yang tersedia kecuali data B-series. Namun, karakteristik CPP berbeda secara substansial dari FPP. Propeller dalam prinsip kerjanya yaitu memindahkan dari tenaga rotasi menjadi daya dorong pada suatu fluida seperti air atau udara, daun propeller tersebut berperan sebagai sayap untuk menghasilkan gaya yang mengacu prinsip pada bernouli dan hukum gerak newton yang menghasilkan perbedaan tekanan antara permukaan depan dan belakang. Dikarenakan adanya perbedaan tekanan pada daun menyebabkan terjadinya kavitasi, sedangkan kavitasi itu sendiri yaitu timbulnya atau terbentuknya gelembung-gelembung gas pada daun propeller dikarenakan tekanan menurun dibawah tekanan uap menyebabkan terjadi penguapan walaupun air belum menyentuh suhu 100 derajat celcius, itu di karenakan tekanan menurun dan suhu air untuk mendidih juga menurun. Apabila daun propeller mengalami kavitasi maka akan mengalami kerugian seperti terjadi kerusakan material pada daun, akan menurunnya efisiensi propeller sehingga daya dorong berkurang, terjadi kebisingan dan getaran. Dari getaran dan kebisingan tersebut maka adanya standar kenyamanan yang mengorbankan efisiensi baling-baling. Persyaratan yang saling bertentangan efisiensi dan kenyamanan memaksa desainer menyeimbangkan desain baling-baling berkenaan dengan kinerja kavitasi dan efisiensi, dan mengharuskan desainer untuk membayar lebih pada perbaikan baling-baling. Dengan diadakannya analisa kavitasi diharapkan mampu mendapatkan propeller yang terbaik. Pada referensi sebelumnya yang di bahas pada C-series adalah masalah koefisien thrust dan torsi, penelitian ini digunakan variasi pitch. dengan metode CFD (Computational Fluid Dynamics) dan didapatkan dengan merubah Pitch Setting, cavitation akan semakin mengecil jika pitch setting semakin kecil. Dan untuk beberapa model Cavitation bagian face yang paling sedikit pada model P/D 1.4 sedangkan terbanyak pada model P/D 1.0 dan untuk bagian back paling sedikit pada model P/D 1.4 sedangkan terbanyak pada model P/D 1.2.

Kata Kunci : Kavitasi, *Propeller* C4-40 *series*, *Computational Fluid Dynamics (CFD)*

\

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

SURFACE CAVITATION ANALYS ON THE PROPELLER WAGENINGEN BLADES SERIES C4-40 USING CFD

Name : **Maful Suranto**
NRP : **04211645000003**
Departement : **Marine Engineering**
Supervisor I : **Irfan Syarif Arief, S.T.,M.T.**
Supervisor II : **Achmad Baidowi, S.T.,M.T.**

ABSTRAK

Today many ships are equipped with CPP and CPP ducted, both for ships and offshore. The off-design performance of the CPP is not only important for the ship's powering performance, but also for the dynamic positioning and maneuvering of the vessel. Due to the systematic lack of information for CPP in such cases, B-series data are often used instead, both for estimation in the initial design phase as well as the final data sent by a specific new CPP design, simply because no other data is available except for B-series data. However, the CPP characteristics differ substantially from FPP. The propeller in its working principle is to move from rotational force to thrust on a fluid such as water or air, the propeller leaf acts as a wing to produce a principle-based force in the bernouli and the laws of newton motion resulting in a pressure difference between the front and rear surfaces. Due to the difference in pressure on the leaves causing cavitation, while the cavitation itself is the emergence or formation of gas bubbles in the propeller leaf because the pressure drops below the vapor pressure causes evaporation even though the water has not touched the temperature of 100 degrees Celsius, it is because the pressure drops and the temperature water to boil also decreases. When the propeller leaves undergo cavitation it will experience losses as there is damage to the material on the leaves, will decrease the propeller efficiency so that the thrust is reduced, noise and vibration occur. From these vibrations and noise, there is a standard of comfort that sacrifices the efficiency of the propeller. Conflicting requirements of efficiency and convenience force designers to balance the design of the propellers with respect to cavitation performance and efficiency, and require designers to pay more on vane repairs. With the holding of cavitation analysis is expected to get the best propeller. In the previous reference discussed in the C-series is the problem of thrust and torque coefficients, this study used pitch variation. with CFD (Computational Fluid Dynamics) method and obtained by changing Pitch Setting, cavitation will decrease if pitch setting is smaller. And for some models Cavitation the least face on the model P / D 1.4 while most on the model P / D 1.0 and for the back of at least on the model P / D 1.4 while the most on the model P / D 1.2.

Keywords: Cavitation, Propeller C4-40 series, Computational Fluid Dynamics (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 KAVITASI *SURFACE* PADA DAUN *PROPELLER WAGENINGEN SERIES* C4-40 DENGAN CFD"

Tugas Akhir ini diajukan sebagai syarat untuk 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, 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 (Bpk Margono dan Ibu siti ajiah) juga Kakak dan adik atas doa, perhatian, dukungan moral, dan materi yang diberikan kepada penulis tanpa henti sehingga dapat terselesaikannya Tugas Akhir ini.
2. Irfan Syarif Arief, S.T.,M.T, selaku dosen pembimbing pertama 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 Achmad Baidowi, 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 Putra Adnan sebagai programer Numeca dan Ibu Siti Hasan sebagai representative Numeca yang telah membantu kesulitan pada aplikasi tersebut apabila error atau tidak bisa dibuka.
5. Bapak Vikcy Wuwung sebagai Dosen di Politeknik Bandung yang telah menggarahkan atau lebih tepatnya menjadi tutorial saya.
6. Teman seperjuangan Tugas Akhir 2018 terutama teman-teman LJ Gasal Periode 2016 (Adrian, Yafi, Paundra, Fauzi, Yandi, Bayu, Riri, Anton, Ekky, Ridho, dan Satryo) serta seluruh teman-teman seperjuangan Siskal Reguler dan *Double Degree* Angkatan 2013 dan 2014.
7. Teman seperjuangan angkatan 2015 yang telah memberikan dukungan kepada penulis untuk segera menyelesaikan tugas akhir ini.
8. Sahabat penulis di luar Kota Surabaya yang selalu memberikan motivasi kepada penulis untuk segera menyelesaikan tugas akhir ini.
9. Kawan-kawan penghuni Kos Café Boim No.84, Surabaya.
10. Warkop Nastain yang tidak tahu nama bapaknya yang sudah merepotkan setiap malam dan sering mengajak ngobrol.
11. 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, 13 Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN v
ABSTRAK ix
KATA PENGANTAR xiii
DAFTAR ISI xv
DAFTAR GAMBAR xvi
DAFTAR TABEL xix
DAFTAR GRAFIK xx
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah Tugas Akhir 2
1.3 Tujuan Masalah Tugas Akhir 2
1.4 Batasan Masalah Tugas Akhir 2
1.5 Manfaat Tugas Akhir 3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 5
2.1 Sistem Propulsi 5
2.2 Kavitasi 12
2.3 Computational Fluid Dynamic (CFD) 19
BAB III METODOLOGI PENELITIAN 23
3.1 Definisi Masalah 23
3.2 Studi Literatur 23
3.3 Pembuatan Model 23
3.4 Simulasi Model 26
3.5 Diagram Aliran 39
BAB IV ANALISA DATA DAN PEBAHASAN 43
4.1 Propeller Model 43
4.2 Validasi Nilai 44
4.3 Analisa Hasil Simulasi 46
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 69
5.1 Kesimpulan 69
5.2 Saran 69
DAFTAR PUSTAKA 71
LAMPIRAN 73

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Propeller C-series 6
Gambar 2 *Comparison of open water efficiency with the ideal efficiency* 7
Gambar 3 Gaya angkat hidrofoil 8
Gambar 4 *Aerofoil section* 8
Gambar 5 *Aerofoil section definition* 8
Gambar 6 Pitch Propeller 9
Gambar 7 Rake propeller 10
Gambar 8 Skew Propeller 10
Gambar 9 C4-40 Series Propeller 11
Gambar 10 B4-40 Series Propeller 11
Gambar 11 C4-40 Series Propeller 12
Gambar 12 Tekanan Terhadapan Suhu 12
Gambar 13 Kavitasi pada daun propeller 13
Gambar 14 Akibat kavitasi 15
Gambar 15 Tekanan dan aliran udara pada foil 16
Gambar 16 Perbedaan tekanan 16
Gambar 17 Penentuan Boundary Condition dan Meshing 20
Gambar 18 Hasil helicity pada CFD 20
Gambar 19 Geometri propeller CAD 24
Gambar 20 Geometri Propeller Surface 24
Gambar 21 Geometri Propeller Solid 24
Gambar 22 Geometri Propeller 24
Gambar 23 Variasi Model 25
Gambar 24 Ukuran domain 26
Gambar 25 Domain 27
Gambar 26 Initial Mesh 27
Gambar 27 Adapt to Geometry 28
Gambar 28 Hasil *Adat to geometry* 28
Gambar 29 *Snap to Geometry* 29
Gambar 30 *Optimize* 29
Gambar 31 *Viscous Layers* 30
Gambar 32 Hasil Meshing 30
Gambar 33 *General Parameter* 31
Gambar 34 *Fluid Model* 31
Gambar 35 *Flow Model* 31
Gambar 36 *Boundary Condition* 32
Gambar 37 *Body definition* 32
Gambar 38 *Body Motion* 33
Gambar 39 *Mesh Management* 33
Gambar 40 *Initial Solution* 34
Gambar 41 *Computational Control Variables dan Output* 34
Gambar 42 Hasil Residuals 35
Gambar 43 Hasil Motion 35
Gambar 44 Hasil force 35

Gambar 45 Hasil Moments 36
Gambar 46 Hasil pressure CFview 36
Gambar 47 Hasil turbulent kinetic energy CFview 36
Gambar 48 Hasil cavitation fraction CFview 37
Gambar 49 Diagram aliran 40
Gambar 50 Propeller C4-40 44
Gambar 51 Propeller C4-40 dari paper 44
Gambar 52 *Pressure J =0.6 face* dan *back* 47
Gambar 53 *Pressure J =0.8 face* dan *back* 47
Gambar 54 *Pressure J =1.0 face* dan *back.* 47
Gambar 55 *Pressure J =0.6 face* dan *back.* 48
Gambar 56 *Pressure J =0.8 face* dan *back* 48
Gambar 57 *Pressure J =1.0 face* dan *back* 48
Gambar 58 *Pressure Pitch Setting* +1.6 *face* dan *back* 50
Gambar 59 *Pressure Pitch Setting* +1.4 *face* dan *back* 50
Gambar 60 *Pressure Pitch Setting* +1.2 *face* dan *back* 50
Gambar 61 *Pressure Pitch Setting* -1.0 *face* dan *back* 50
Gambar 62 *Pressure Pitch Setting* -1.2 *face* dan *back* 50
Gambar 63 *Pressure Pitch Setting* +1.4 *face* dan *back* 51
Gambar 64 *Pressure Pitch Setting* +1.2 *face* dan *back* 51
Gambar 65 *Pressure Pitch Setting* +1.0 *face* dan *back* 51
Gambar 66 *Pressure Pitch Setting* -1.0 *face* dan *back* 52
Gambar 67 *Pressure Pitch Setting* -1.2 *face* dan *back* 52
Gambar 68 *TKE J =0.6 face* dan *back* 53
Gambar 69 *TKE J =0.8 face* dan *back* 54
Gambar 70 *TKE J =1.0 face* dan *back* 54
Gambar 71 *TKE J =0.6 face* dan *back* 55
Gambar 72 *TKE J =0.8 face* dan *back* 55
Gambar 73 *TKE J =1.0 face* dan *back* 56
Gambar 74 *TKE Pitch Setting* +1.6 *face* dan *back* 57
Gambar 75 *TKE Pitch Setting* +1.4 *face* dan *back.* 58
Gambar 76 *TKE Pitch Setting* +1.2 *face* dan *back* 58
Gambar 77 *TKE Pitch Setting* -1.0 *face* dan *back* 59
Gambar 78 *TKE Pitch Setting* -1.2 *face* dan *back* 59
Gambar 79 *TKE Pitch Setting* +1.4 *face* dan *back* 60
Gambar 80 *TKE Pitch Setting* +1.2 *face* dan *back* 60
Gambar 81 *TKE Pitch Setting* +1.0 *face* dan *back* 61
Gambar 82 *TKE Pitch Setting* -1.0 *face* dan *back* 61
Gambar 83 *TKE Pitch Setting* -1.2 *face* dan *back* 61
Gambar 84 *Cavitation J =0.6 face* dan *back* 64
Gambar 85 *Cavitation J =0.8 face* dan *back* 64
Gambar 86 *Cavitation J =1.0 face* dan *back* 64
Gambar 87 *Cavitation J =0.6 face* dan *back* 64
Gambar 88 *Cavitation J =0.8 face* dan *back* 65
Gambar 89 *Cavitation J =1.0 face* dan *back* 65
Gambar 90 *Cavitation Pitch Setting* +1.6 *face* dan *back* 65

Gambar 91 *Cavitation Pitch Setting* +1.4 *face* dan *back* 65
Gambar 92 *Cavitation Pitch Setting* +1.2 *face* dan *back* 66
Gambar 93 *Cavitation Pitch Setting* -1.0 *face* dan *back* 66
Gambar 94 *Cavitation Pitch Setting* -1.2 *face* dan *back* 66
Gambar 95 *Cavitation Pitch Setting* +1.4 *face* dan *back* 66
Gambar 96 *Cavitation Pitch Setting* +1.2 *face* dan *back.* 67
Gambar 97 *Cavitation Pitch Setting* +1.0 *face* dan *back* 67
Gambar 98 *Cavitation Pitch Setting* -1.0 *face* dan *back* 67
Gambar 99 *Cavitation Pitch Setting* -1.2 *face* dan *back* 67
Gambar 100 *Cavitation* Model P/D 1.4 *face* dan *back* 68
Gambar 101 *Cavitation* Model P/D 1.2 *face* dan *back.* 68
Gambar 102 *Cavitation* Model P/D 1.0 *face* dan *back* 68

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Variasi Model 25
Tabel 2 Validasi Meshing 37
Tabel 3 Validasi model 38
Tabel 4 Parameter utama 41
Tabel 5 *Section profiles* 41
Tabel 6 Variasi Model 43
Tabel 7 Validasi Meshing 45
Tabel 8 Validasi Model 46
Tabel 9 Hasil Pressure Variasi *Advance Coefficient* (J) 49
Tabel 10 Hasil Pressure Variasi *Pitch Setting* 53
Tabel 11 Hasil *Turbulent Kinetic Energy* Variasi *Advance Coefficient* (J). 57
Tabel 12 Hasil *Turbulent Kinetic Energy* Variasi *Pitch Setting* 62
Tabel 13 *Cavitation Parameter* 63

DAFTAR GRAFIK

Grafik 1 Validasi Meshing 38
Grafik 2 Validasi model 39
Grafik 3 Validasi Meshing 45
Grafik 4 Validasi Model 46

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Propeller dengan kata lain yaitu sebuah baling-baling yang umumnya biasa digunakan untuk pemanfaatan pada pembangkit listrik seperti kincir angin dan juga bisa digunakan untuk tenaga dorong, biasanya digunakan untuk menjalankan kapal ataupun pesawat terbang. Propeller mulai berkembang dari jenis wageningen B-series sejak lembaga Netherlands Ship Model Basin (N.S.M.B.) berdiri pada tahun 1932 di Maritime Research Institute Netherlands (MARIN) untuk beberapa jumlah daun, selanjutnya dengan seri yang sama pada jumlah daun 6 dan 7 dikembangkan pada tahun 1970-an, total 20 series dengan 120 lebih propeller yang di uji. Selain B-series juga dikembangkan Ka-series selain itu ada Taylor, Gawn, SSPA dan MAU series, tetapi hanya B-series yang banyak digunakan pada lapangan kerja. Belum lama ini Maritime Research Institute Netherlands (MARIN) bekerja sama dengan industri yang dinamakan Joint Industry Project (JIP) untuk mengembangkan dua series propeller baru yaitu C-series dengan CPP dan D-series dengan ducted CPP.

Saat ini banyak kapal dilengkapi dengan CPP dan juga CPP ducted, baik untuk kapal maupun lepas pantai. Kinerja off-design dari CPP tidak hanya penting untuk performa powering kapal, namun juga untuk dynamic positioning dan manuver kapal tersebut. Disebabkan oleh kurangnya informasi pada sistematis untuk CPP dalam kasus tersebut, data B-series sering digunakan sebagai gantinya, baik untuk estimasi di tahap desain awal dan juga sebagai data akhir yang dikirim desain CPP baru yang spesifik, hanya karena tidak ada yang data lain yang tersedia kecuali data B-series. Namun, karakteristik CPP berbeda secara substansial dari FPP.

Propeller dengan prinsip kerjanya yaitu untuk memindahkan yang awalnya dari tenaga rotasi menjadi daya dorong (*thrust*) pada suatu fluida tertentu bisa seperti air atapun udara, dalam prinsip kerjanya daun propeller berperan sebagai sayap seperti sayap pesawat untuk menghasilkan gaya angkat, hal itu mengacu pada prinsip bernouli dan hukum gerak newton untuk menghasilkan perbedaan tekanan antara permukaan depan dan belakang. Dikarenakan pada foil tersebut terjadi perbedaan kecepatan menyebabkan adanya perbedaan tekanan pada daun yang akhirnya terjadi kavitasi, sedangkan kavitasi yaitu 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 celcius. Apabila suatu daun propeller mengalami kavitasi maka akan sangat dirugikan seperti terjadi kerusakan material pada daun bisa berlubang ataupun patah yang akan menyebabkan menurunnya efisiensi propeller sehingga daya dorong berkurang, bisa terjadi kebisingan dan getaran. Dari adanya getaran dan kebisingan tersebut maka adanya standar kenyamanan yang mengorbankan efisiensi baling-baling. Persyaratan yang saling bertentangan antara efisiensi dan kenyamanan memaksa desainer harus menyeimbangkan kinerja kavitasi dan efisiensi, dan mengharuskan pemilik untuk membayar lebih pada perbaikan baling-baling, sehingga perlu adanya keseimbangan antara kenyamanan dan efisiensi baling-baling dengan ini perlu diadakan

analisa kavitasi. Dengan diadakannya analisa kavitasi diharapkan mampu mendapatkan propeller yang terbaik.

Pada referensi sebelumnya yang di bahas pada C-series adalah masalah koefisien thrust dan torsi, dikarenakan dari permasalhan diatas adalah kavitasi bersifat merusak maka perlu adanya analisa distribusi aliran terjadinya kavitasi pada propeller C4-40 series CPP, dengan variasi pitch. Penelitian ini menggunakan metode CFD (Computational Fluid Dynamics).

1.2 Rumusan Masalah Tugas Akhir

Pada referensi sebelumnya yang di bahas pada C-series adalah masalah thrust dan torsi bisa di lihat pada referensi "The Wageningen C- and D-Series Propellers", "A QUASI-STEADY METHOD FOR EFFICIENTLY CONDUCTING OPEN WATER MODEL TESTS", dan "Quasi-Steady Two-Quadrant Open Water Tests for the Wageningen Propeller C- and D-Series", sedangkan masalah kavitasi belum dilakukan, pada penelitian ini mengambil permasalahan distribusi aliran terjadinya kavitasi pada surface propeller C4-40 series CPP, sehingga mendapat perumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana kavitasi yang terjadinya pada surface daun propeller C4-40 series dengan variasi pitch?

1.3 Tujuan Masalah Tugas Akhir

Adapun tujuan tugas akhir yang akan dicapai oleh peneliti ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui kavitasi yang terjadinya pada surface daun propeller C4-40 series dengan variasi pitch.

1.4 Batasan Masalah Tugas Akhir

Untuk memfokuskan permasasalahan dan mengantisipasi melebarnya topik permasalahan, penulis memiliki batasan masalah sebagai berikut :

1. Propeller yang digunakan adalah series C4-40 dengan spesifikasi sebagai berikut :
   Diameter = 243 mm
   Model Pitch = 1.4, 1.2, 1.0, dan 0.8
   Expanded Area Ratio = 0.40
   Number of Blades = 4
2. Kondisi propeller akan dianalisa pada keadaan putaran yang mengacu pada penelitian sebelumnya.
3. Pemodelan dilakukan dengan tujuan untuk membandingkan kavitasi hasil konfigurasi model dan hanya membahas kavitasi pada surface daun propeller.

1.5 Manfaat Tugas Akhir

Manfaat yang diperoleh dari penelitian dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Bagi pemilik kapal yang menggunakan propeller C4-40, penelitian ini bisa menjadi tolak ukur untuk pemilihan propeller.
2. Bagi penulis dan pembaca, sebagai kajian bahan referensi untuk penelitian selanjutnya yang berhubungan dengan tugas akhir ini.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Propulsi

Kapal menurut Paulus agung hermowo (2008: 9) adalah kendaraan air dengan bentuk dan jenis tertentu, yang digerakan dengan angin, tenaga mekanik, energy lainnya, ditarik atau ditunda, termasuk kendaraan yang berdaya dukung dinamis, kendaraan di bawah permukaan air, serta alat apung dan bangunan terapung yang tidak berpindah-pindah. Sistem penggerak dari kapal tersebut dinamankan propulsi yang meliputi motor induk atau sistem penggerak utama, penggerak atau propulsor, dan komponen transmisi. Sehingga dapat disimpulkan sistem propulsi adalah suatu alat penggerak yang meliuti motor induk beserta komponen transmisinya. Salah satu contoh komponen transmisinya yaitu propeller sebagai berikut:

2.1.1 Propeller

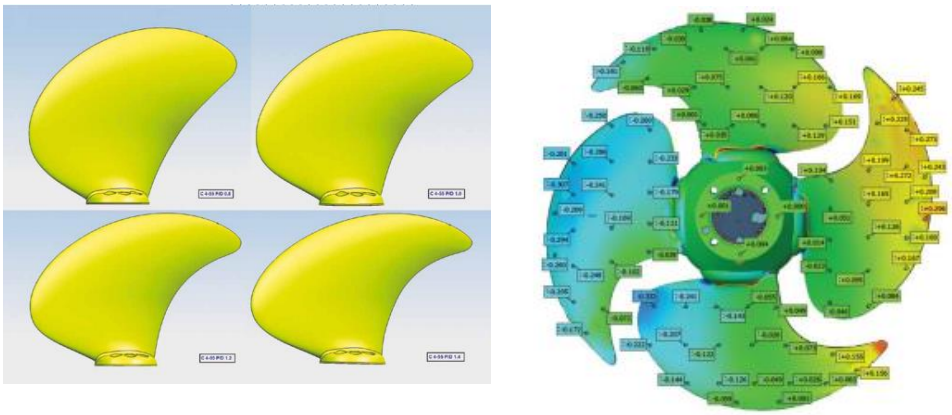
Propeller menurut muh. Zainal Abidin dalam tugas akhirnya (2012:1) yaitu propulsor (alat gerak kapal) adalah alat yang dapat digunakan untuk memindahkan/ menggerakkan kapal dari satu tempat ke tempat lainnya. Dengan kata lain dapat disimpukan yaitu sebuah baling-baling yang umumnya biasa digunakan untuk pemanfaatan pada pembangkit listrik seperti kincir angin dan juga bisa digunakan untuk tenaga dorong, propeller juga mempunyai beberapa daun. Cara kerja dari propeller untuk menghasilkan tenaga daya dorong yaitu memindahkan dari putaran atau rotasi menjadi daya dorong pada suatu fluida seperti air ataupun udara, pada daun propeller foil tersebut berperan sebagai sayap seperti di pesawat terbang untuk menghasilkan gaya angkat pada prinsip bernouli dan hukum gerak newton yaitu untuk menghasilkan perbedaan tekanan antara permukaan depan dan belakang dari perbedaan tersebut sehingga menghasilkan gaya angkat yang selanjutnya akan menjadi daya dorong.

Dari berbagai jenis propeller, B-series dan C-,D-series merupakan jenis propeller yang diterbitkan oleh Maritime Research Institute Netherlands (MARIN). Untuk perbedaan fungsi B-series dan C-,D-series yaitu menurut Jie Dang pada papernya (2012:1) bahwa *The B-series comprise the open water characteristics of conventional fixed pitch propellers (FPPs) designed for merchant ships with various numbers of blades and blade area ratios at different pitch.* Sedangkan untuk fungsi dari CPP menurut J. Dang pada papernya (2012:1) yaitu *Different from Fixed Pitch Propellers (FPPs), Controllable Pitch Propellers (CPPs) are well-known for their advantage for full power utilization at any circumstances: accelerating and stopping, rapid manoeuvring, dynamic positioning (DP), etc. For these reasons, CPPs are widely used for multi-purpose vessels where their propulsors are often used in off-design conditions.* Untuk fungsi dari C-, D- series sendiri menurut J. Dang pada papernya (2012:1) yaitu *While designing the Wageningen C- and D-series propellers, an extensive propeller database search has been carried out first. A large number of practical propeller designs, made with up-to-date hydrodynamic knowledge was gathered. Studies have been carried out to relate the propeller main dimensions to the typical applications, so that each design of the blades reflects a certain scenario of a typical application. For*

instance, a 4-bladed CPP with large blade area and high pitch ratio's is often used for the fast ferries and cruise ships where the comfort is weighted more than the efficiency; a 4-bladed CPP with small blade area and low pitch ratio's is typically used by transport ships with a large amount of harbour activities, such a shuttle tanker, where the propulsive efficiency is essentially important, rather than the comfort. The 5-bladed CPP designs are aimed at applications for the navies. Yang dimana FPP atau *fixed pitch propellers* adalah daun propeller dengan suatu sudut pitch tertentu yang tidak dapat di rubah sedangkan CPP atau *controllable pitch proppellers* yaitu suatu daun propeller yang dapat dirubah pada sudut pitch tertentu.

Saat ini banyak kapal dilengkapi dengan CPP dan juga CPP ducted, baik untuk kapal maupun lepas pantai. Kinerja off-design dari CPP tidak hanya penting untuk performa powering kapal, namun juga untuk dynamic positioning dan manuver kapal tersebut. Disebabkan oleh kurangnya informasi pada sistematis untuk CPP dalam kasus tersebut, data B-series sering digunakan sebagai gantinya, baik untuk estimasi di tahap desain awal dan juga sebagai data akhir yang dikirim desain CPP baru yang spesifik, hanya karena tidak data lain yang tersedia kecuali data B-series. Namun, karakteristik CPP berbeda secara substansial dari FPP. Ada permintaan tinggi untuk mengembangkan CPP seri dengan informasi desain yang lengkap untuk two-quadrant open water karakteristik.

Dalam seri Wageningen B yang terkenal dan Ka-series, seri C baru terdiri dari CPP terbuka sedangkan D-seri dengan ducted CPP. Tujuan utamanya pengembangan seri CPP baru adalah untuk membantu industri pembuatan kapal dan lepas pantai dalam memahami the off-design performance of the CPP, yang kekurangan informasi mengenai CPP. Berikut pada gambar 1. adalah contoh dari propeller C-series:



Gambar 1. Propeller C-series

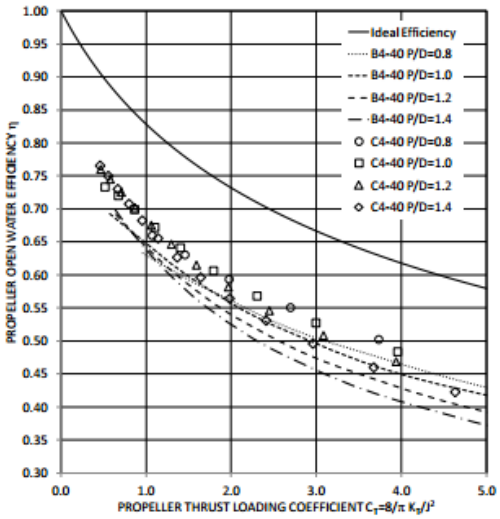
(Sumber : Quasi-Steady Two-Quadrant Open Water Tests for the Wageningen Propeller C- and D-Series)

Bahan yang sering digunakan untuk membuat propeller yaitu Gray cast iron, Carbon and low-alloy steels, Chromium stainless steel, Chromium-nickel austenitic stainless steel,

Manganese bronze, Nickel -manganese bronze, Nickel-aluminium bronze, Manganese-Aluminium bronze. Tetapi pada penelitian J. Dang pada papernya (2012:3) yaitu *all propeller blades and hubs were made of aluminium with anodized final surface treatment.*

Dengan dikembangkannya propeller yang bekerjasama antara Maritime Research Institute Netherlands (MARIN) dan Joint Industry Project (JIP) menghasilkan new C-series terdiri dari CPP dan new D-series pada ducted CPP. Salah satu kelebihan dari new C-series yang dikembangkan yaitu:

1. Effisiensi lebih bagus di karenakan mendekati effisiensi ideal dapat dillihat pada gambar 2. sebagai berikut:



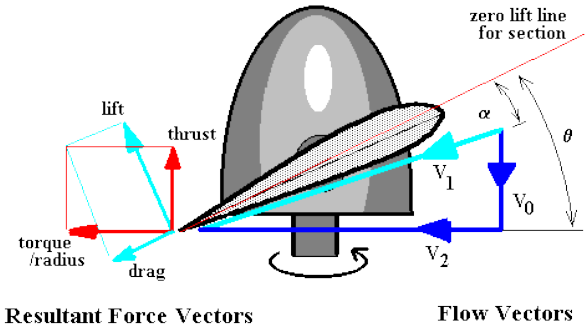
Gambar 2. *Comparison of open water efficiency with the ideal efficiency*

(Sumber *: The Wageningen C- and D-Series Propellers*)

2. Dikarenakan CPP lebih menguntungkan pada daya penuh dalam keadaan apa pun: *accelerating* dan *stopping*, *manoeuvring*, *dynamic positioning* (DP) dan lain lain.

2.1.2 Propeller Geometry

Dalam bentuk propeller dibutuhkan adanya hirodinamis dengan kata lain hidrofoil yang dimana adanya suatu lift dan drag, suatu gaya lift harus lebih besar dari suatu gaya drag yang pada dasarnya hidrofoil terjadi di suatu fluida dengan kecepatan tertentu agar mengalami hidrodinamika. Hidrodinamika sendiri adalah suatu perbedaan kecepatan dibagian bawah dan bagian atas. Fluida pada bagian atas akan mengalami lebih cepat dibandingkan dengan kecepatan di bawah aerofoil. Fenomena ini akan menyebabkan terjadinya suatu perbedaan tekanan yang pada akhirnya menimbulkan suatu gaya lift atau gaya angkat.



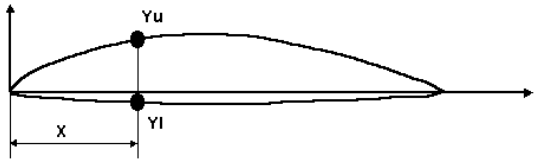
Gambar 3. Gaya angkat hidrofoil

(Sumber : http://www-mdp.eng.cam.ac.uk)

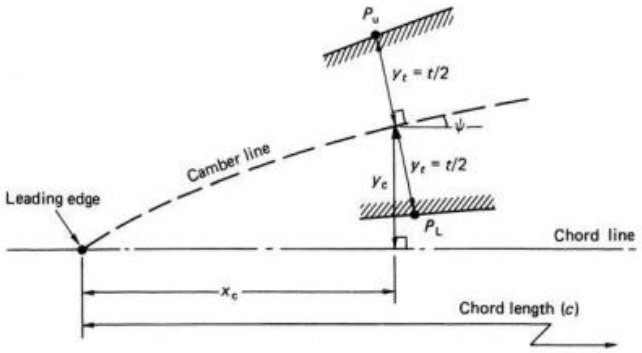
Adapun untuk penggambaranya yaitu

a. Aerofoil

Airfoil merupakan bentuk potongan melintang sayap yang dihasilkan oleh perpotongan tegak lurus sayap, dengan kata lain airfoil merupakan gambar sayap secara dua dimensi. Untuk propeller series C4-40 menurut J. Dang pada papernya (2012:3) penggambaran propeller ini yaitu mengancu pada *NACA 66 (MOD) thickness distribution and the NACA a=0.8 meanline have been used for all of the propeller blades for the present propeller series*. Dengan propeller pada bagian tepi trailing digunakan minimum ketebalan 0,4 mm.



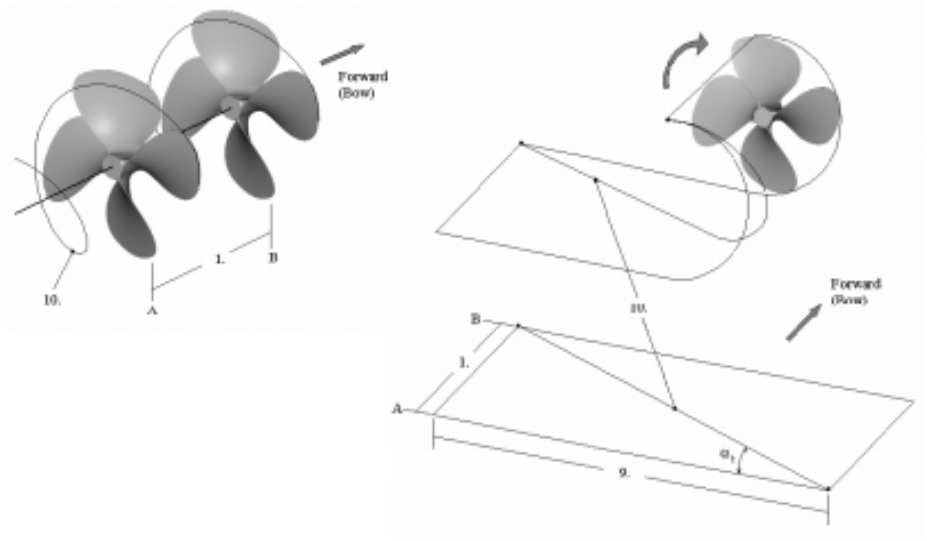
Gambar 4. *Aerofoil section*
(Sumber : http://www.marin.nl)



Gambar 5. *Aerofoil section definition*
(Sumber : marine propeller and proulsion CARLTON)

b. Pitch

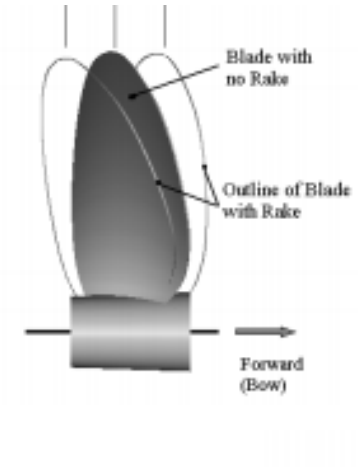
Pitch adalah suatu jarak aksial yang ditempuh oleh propeller pada satu kali putaran (360 derajat). Pada prinsipnya, pengertian pitch dapat di analogikan akan sama dengan gear pada mobil. Suatu panajng pitch bisa dilihat pada gambar 6. dengan definisi nomer 1 adalah panjang pitch.



Gambar 6. Pitch Propeller
(Sumber : Propeller Geometry Terms and Definitions)

c. Rake

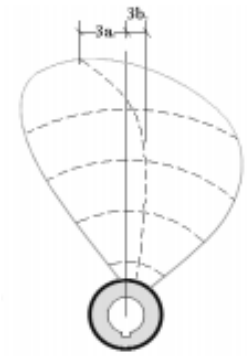
Rake adalah Kemiringan daun propeller ke depan atau belakang dari Blade. Rake positif yang berarti kemiringan daun propeller ke arah ujung belakang hub. Sedangkan Rake negatif yang berarti kemiringan daun propeller ke arah ujung depan hub.Dapat ditentukan dalam inci di ujung daun propeller atau dalam derajat.



Gambar 7. Rake propeller
(Sumber : Propeller Geometry Terms and Definitions)

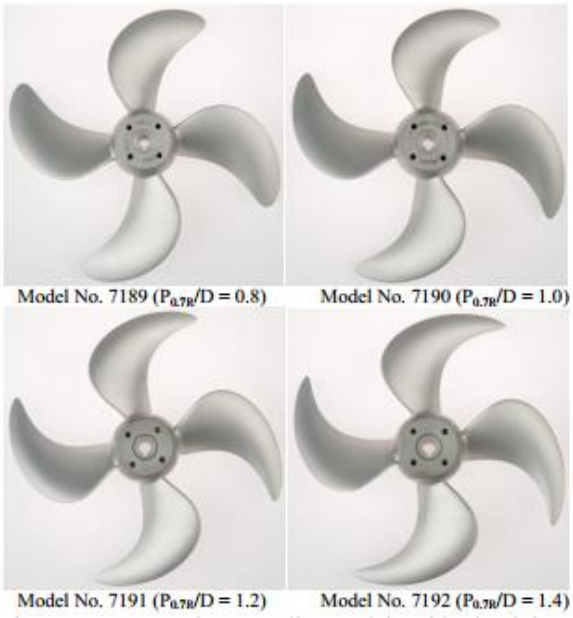
d. Skew

Skew adalah suatu Blade Centre Line yang melengkung kebelakang dari arah putaran propeller seperti pada gambar 8. berikut.



Gambar 8. Skew Propeller
(Sumber : Propeller Geometry Terms and Definitions)

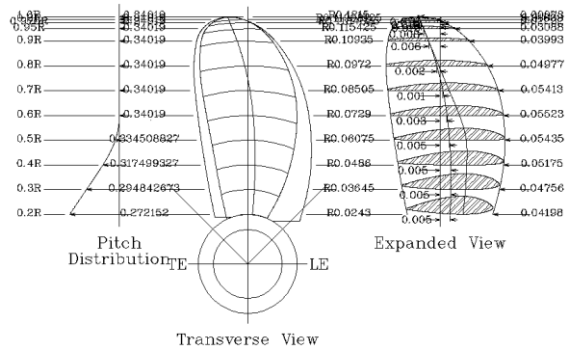
Untuk data geometry C4-40 series propeller yaitu menggunakan software MC440 yang dapat didownload di Maritime Research Institute Netherlands. yang akan menghasilkan gambar C4-40 series pada gambar 9. seperti berikut:



Gambar 9. C4-40 Series Propeller

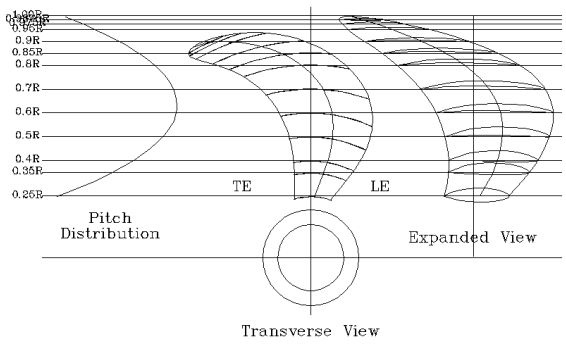
(Sumber : The Wageningen C- and D-Series Propellers)

Dari pengertian diatas secara umum perubahan dari propeller B4-40 series menjadi propeller C4-40 series yaitu dapat dilihat pada gambar 10. dan 11. sebagai berikut:



r/R	C	tmax	P	S	X
[-]	[m]	[m]	[m]	[m]	[-]
0.2	41.98	8.89	272.1	-5	
0.3	47.56	7.87	294.8	-5	
0.4	51.75	6.85	317.4	-5	
0.5	54.35	5.83	334.5	-5	
0.6	55.23	4.81	340.19	-3	
0.7	54.13	3.79	340.19	-1	
0.8	49.77	2.77	340.19	2	
0.9	39.93	1.75	340.19	6	
0.95	30.88	1.24	340.19	8	
0.975	22.32	0.99	340.19	10	
0.9875	16.03	0.86	340.19	10	
1	0.73	0.37	340.19	11	

Gambar 10. B4-40 Series Propeller
(Sumber : Procad)



r/R	C	tmax	P	S	X
[-]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
0.25172	32.71025	7.28156304	281.8035	-3.17401	1.37849
0.35	40.59644	6.135437624	308.8726	-9.73784	1.266294
0.4	44.68141	5.555222113	319.5688	-12.0849	0.701586
0.5	52.44484	4.455525513	334.7394	-14.5835	-1.01378
0.6	58.81488	3.484324416	341.6144	-13.4864	-2.92648
0.7	62.5272	2.667020816	340.1938	-7.48965	-4.34577
0.8	61.70405	1.992882377	330.4776	5.283677	-4.59232
0.85	58.57026	1.696265758	322.5086	14.95494	-4.06663
0.9	52.47597	1.415042436	312.4657	27.28405	-2.99815
0.95	41.0451	1.137708089	300.3489	42.6669	-1.30517
0.975	30.84942	0.996286651	293.5128	51.637	-0.19916
0.9875	22.68827	0.924065245	289.9003	56.46642	0.423142
1	0	0.8505	286.1582	61.53522	1.093306

Gambar 11. C4-40 Series Propeller
(Sumber : Autocad)

Dari gambar 2.9 dan 2.10 dapat disimpulkan:

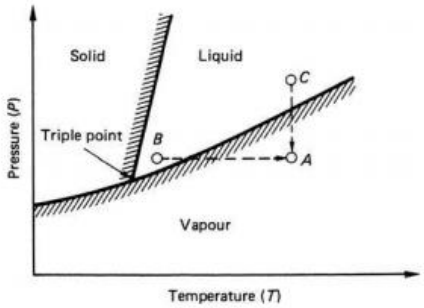
1. Dilihat dari panjang Chord Length diketahui pada C4-40 dengan radius r/R = 0.6 sampai r/R=1.0 akan lebih besar dibandingkan pada B4-40.
2. Dilihat dari ketebalan foil rata-rata pada C4-40 lebih kecil dibandingkan B4-40 tetapi pada r/R = 0.9875 lebih besar.
3. Dilihat dari panjang Pitch diketahui pada C4-40 dengan r/R = 0 samapai r/R = 0.6 akan lebih besar dan pada r/R yang lain mengalami sebaliknya.
4. Dilihat dari bentuk Skew pada r/R = 0.25 akan lebih kecil dan r/R = 0.5 akan lebih besar dengan harga negatif sedangkan pada r/R = 1.0 akan lebih besar dengan harga positif.
5. Dilihat bentuk Rake pada C4-40 akan bervariasi dengan setiap r/R dan pada B4-40 menggunakan sudut 15°.

2.2 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 celcius.

a. 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 12. suhu terhadap tekanan sebagai berikut:



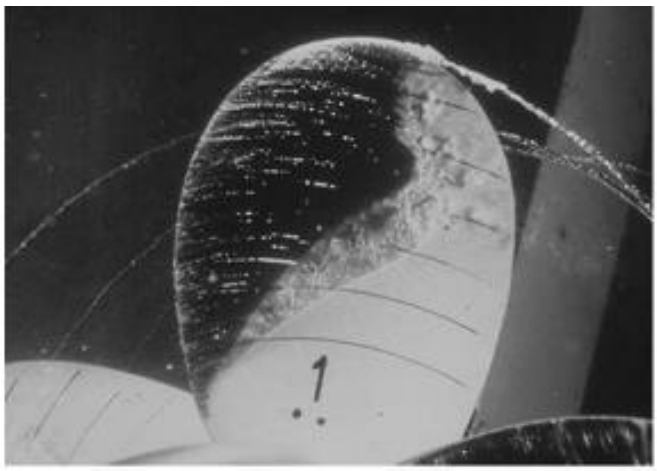
Gambar 12. Tekanan Terhadapan Suhu
(Sumber : marine propeller and proulsion CARLTON)

Apabila suatu keadaan benda B ataupun C dengan salah satu suhu atau tekanan menurun dibawah garis terjadinya vapor makan disitu akan terjadi gemlembung 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.

b. 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 berasarkan 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, pembedaan kavitasi menurut jenisnya. Namun demikian pembedaan 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:

1. Berdasarkan letak:
   - Ujung propeller
     Contoh: Kavitasi diujung atau tip, yaitu kavitasi yang terjadi di permukaanmujung 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 13. Kavitasi pada daun propeller
(Sumber: marine propeller and proulsion CARLTON)

2. Menurut letak penampang, misalnya penampang di tengah (midchord)
   a. Tepi depan
   b. Tepi ikut: kavitasi pusaran (trailing vortex cavitation). Kavitasi ini adalah kavitasi dengan tekanan rendah di pusaaran ikut di dalam aliran meninggalkan propeller.
   c. Alas
   d. Sisi hisap (punggung): Contoh kavitasi yang terjadi pada punggung atau sisi hisap propeller.
   e. 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.
   f. 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.
3. Berdasarkan struktur:
   a. Kavitasi lembaran atau (sheet cavitation)
   b. Kavitasi bercak bebentuk lembaran; sempit, melekat pada permukaan, timbul suatu bercak kekasaran yang terpencil.
   c. Kavitasi garis
   d. Kavitasi awan (dibagian belakang atau ujung patah kavitasi lembaran dalam medan arus ikut, umumnya terkait dengan erosi)
   e. Kavitasi gelembung
   f. Kavitasi pusaran
4. Dinamika rongga:
   a.Tunak
   b. Tak tunak
   c. Tidak menetap
   d. Transien atau bergerak
   e. Menempel (secara tetap atau berlangsung dalam interval waktu, dalam bentuk kavitasi yang mengembang sebagian atau sepenuhnya atau sebagai sejumlah pusaran)
   f. Bergerak mengikut (misalnya, kavitasi pusaran)

c. Kerugian Kavitasi

Kerugian kavitasi dapat berupa sebagai berikut:

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

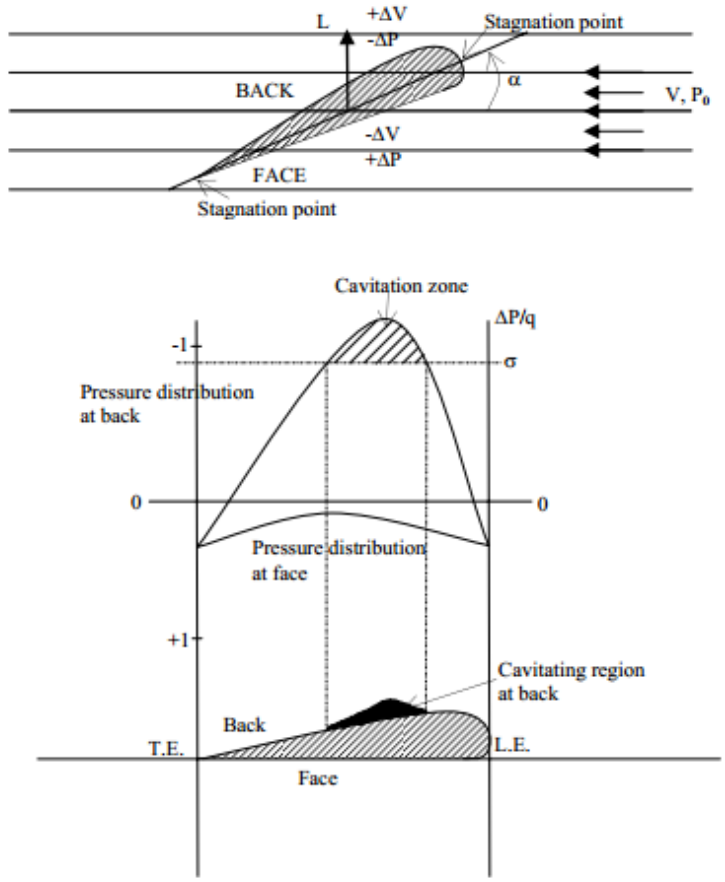
Gambar 14. Akibat kavitasi
(Sumber : http://smithship.blogspot.co.id)

Cukup banyak yang dilakukan unttuk menahan akibat dari erosi, dengan percobaan kavitasi, tubrukan atau lainya. Pada pengujian erosi pada benda uji dalam fluida dappat ditimbulkan dengan menggetarkan benda tersebut, misalnya diajuakan 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 inin mempunyai alat pemegang benda uji (specimen holder). Di alat ini benda akan diuji disisipkan demikian rupa hingga merupaka 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.

d. Aliran Kavitasi

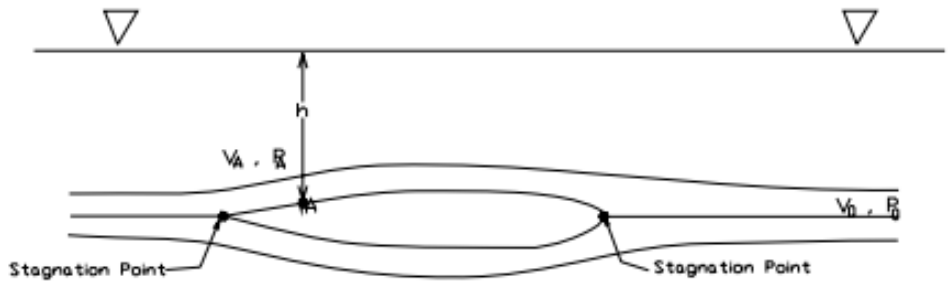
Banyak hal yang bisa menyebabkan kavitasi. Contoh pada kehidupan sehari-hari adalah air yang mendidih. Dalam air yang mendidih tekanan uap akan naik karena kenaikan suhu air. Dalam hidrodinamika kavitasi umumnya disebabkan oleh aliran. Aliran kavitasi demikian merupakan aliran dua fase yang terdiri dari cairan dan uap air, dan transisi fase disebabkan karena perubahan tekanan.

Gambar 15. menunjukkan mekanisme terjadinya kavitasi. Sebuah penampang daun ataupun foil udara diletakkan pada sudut tertentu dalam aliran 2-dimensi tanpa kekentalan.



Gambar 15. tekanan dan aliran udara pada foil
(Sumber : The Basic of cavitation)

Yang dimana pada gambar 16. tekanan pada titik A tidak boleh melebihi, apabila melebihi akan terjadi kavitasi.



Gambar 16. Perbedaan tekanan
(Sumber : The Basic of cavitation)

Yaitu menggunakan rumus:

$$Pa \leq Pv$$

Atau

$$\frac{p0 - pa}{\frac{1}{2}\ \rho\ v\text{^}2} \geq \frac{p0 - pv}{\frac{1}{2}\ \rho\ v\text{^}2}$$

(2-1)

Dimana p0 dan V, tekanan dan kecepatan fluida. Sedangkan pa dan Va tekanan dan kecepatan pada posisi di titik A. Untuk mengetahui tekanan di dalam air sehingga menggunakan Bernoulli Equation:

$$p0 + \frac{1}{2}\ \rho\ V^2 = pa + \frac{1}{2}\ \rho Va\text{^}2$$

atau

$$p0 - pa = \frac{1}{2}\ \rho Va^2 - \frac{1}{2}\ \rho\ V^2$$

(2-2)

Mensubtitusi antara persamaan 1 dan 2 di hasilkan:

$$\frac{p0 - pa}{\frac{1}{2}\ \rho\ v\text{^}2} = \frac{\frac{1}{2}\ \rho Va^2 - \frac{1}{2}\ \rho\ V^2}{\frac{1}{2}\ \rho\ v\text{^}2}$$

atau

$$\frac{\Delta p}{q} \geq \frac{p0 - pv}{\frac{1}{2}\ \rho\ v\text{^}2}$$

(2-3)

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

$$\sigma = \frac{p0 - pv}{\frac{1}{2}\ \rho\ v\text{^}2}$$

dan

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

(2-4)

Dimana po adalah tekanan kedalaman di tambah dengan tekanan atmospheric yaitu :

$$\sigma = \frac{patm + ph - pv}{\frac{1}{2}\ \rho\ v\text{^}2}$$

(2-5)

Dengan ph = ρ g h

Dikarenakan σ cavitation number adalah konstan dengan adanya perubahan tiap Cp, 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:

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

e. Kavitasi model

Menurut Lucian Hanimann (2016:3) *Four different cavitation models are considered. The Kunz, Merkle and Schnerr-Sauer model are already available in OpenFOAM. The Zwart model was then added since it is one of the standard models for commercial codes.* Tetapi yang digunakan pada software ada 3 yaitu *The Kunz, Merkle and Schnerr-Sauer.*

1. *Kunz*

Menurut Robert F Kunz (2000:849-875) dimana pada pemodelan kavitasi ini yaitu sheet kavitasi. Perubahan dari vapor ke liquid adalah Re, dan Rc adalah perubahan liquid ke vapor:

$$Re = \frac{C_{\text{dest}}\, \rho_v\, \alpha_l\, min\,[0, p - p_{Sat}]}{\rho_l \frac{U_\infty^2}{2} t_\infty}$$

$$Rc = \frac{C_{\text{prod}}\, \rho_v\, \alpha_l^2\, (1 - \alpha_l)}{t_\infty}$$

Dimana : (2-6)

Cdest = 1000 Cprod = 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*.

2. *Merkle*

Menurut CL Merkle (2006) dimana model ini digunakan:

$$Re = k_v \frac{\rho_v\, \alpha_l}{t_\infty} \underbrace{min\left[1, \max\left(\frac{p_{Sat} - p}{k_p\, p_v}, 0\right)\right]}_{f}$$

$$Rc = k_l \frac{\rho_v\, \alpha_v}{t_\infty} \underbrace{min\left[1, \max\left(\frac{p - p_{Sat}}{k_p\, p_v}, 0\right)\right]}_{f}$$

(2-7)

3. *Schnerr-Sauer-Yuan*

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

$$Re = \frac{\rho_v\, \rho_l}{\rho} \alpha_v (1 - \alpha_v) \frac{3}{R_b} \sqrt{\frac{2}{3} \frac{p_{Sat} - p}{\rho_l}}$$

$$Rc = \frac{\rho v\, \rho l}{\rho} \alpha v\,(1 - \alpha v) \frac{3}{Rb} \sqrt{\frac{2}{3} \frac{p - p Sat}{\rho l}} \quad (2\text{-}8)$$

Dengan Rb sebagai radius gelembung:

$$Rb = \left(\frac{\alpha v}{1 - \alpha v} \frac{3}{4\pi n} \right)^{1/3} \quad (2\text{-}9)$$

Konstanta yang harus ditentukan adalah jumlahnya gelembung uap per volume cairan (n). dengan nilai 1.510^{14} nuclei/m^3.

2.3 Computational Fluid Dynamic (CFD)

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).

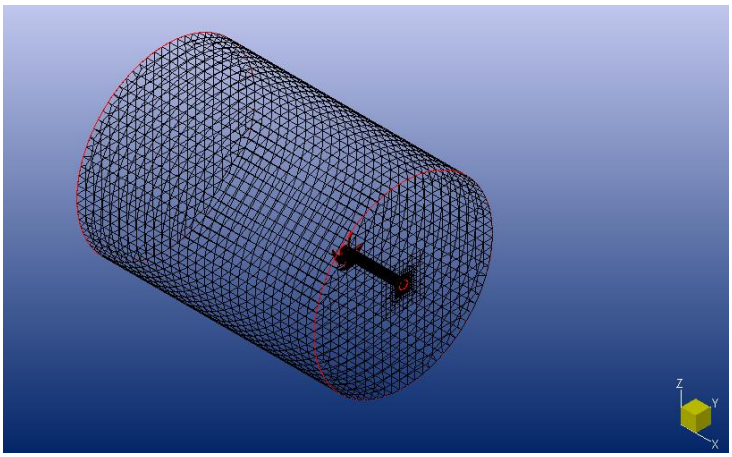
Sejarah CFD berawal pada tahun 60-an dan mulai terkenal pada tahun 70-an, awalnya pemakaian konsep CFD hanya digunakan untuk aliran fluida dan reaksi kimia, namun seiring dengan berkembangnya industri di tahun 90-an membuat CFD makin dibutuhkan pada berbagai aplikasi lain. Contohnya sekarang ini banyak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

2.3.1 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.



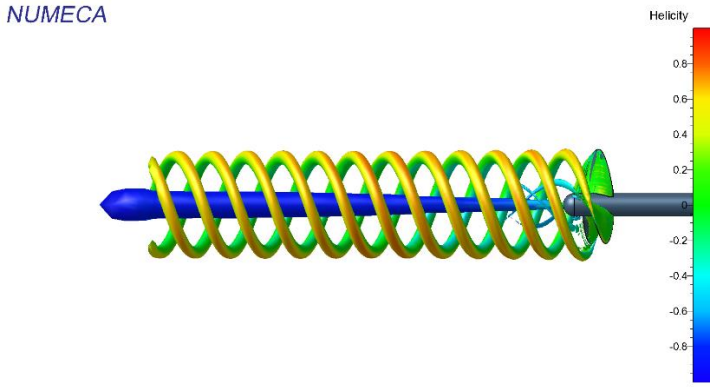
Gambar 17. Penentuan Boundary Condition dan Meshing

2.3.2 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.

2.3.3 Post Processor

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



Gambar 18. Hasil helicity pada 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 Menyeluruah

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 melalukan 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. Definisi Masalah

Definisi masalah pada tahap awal penulisan pada skripsi ini dilakukan dengan tema yang akan dibahas, sehingga penulis menentukan bahasan tentang kavitasi propeller pada C4-40 series. Proses ini dilakukan perumusan masalah dengan variasi Pitch dan variasi pada Koefisien Advance (J). dengan menggunakan metode Computational Fluid Dynamic (CFD). Sehingga dapat didapatkan kavitasi pada masing-masing propeller.

3.2. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan guna lebih memahami permasalahan yang ada. Studi literature dilakukan dengan mengumpulkan dan mempelajari referensi-referensi yang berasal dari buku, jurnal, internet, wawancara serta diskusi, sedangkan unntuk pengumpulan data di peroleh dari sumber : marin.nl. Selain dari sumber-sumber di atas, studi literatur dapat diperoleh dengan melakukan tanya jawab dengan pihak-pihak yang berkepentingan dan berkompeten pada bahasan skripsi ini. Bahasan yang akan dibahas pada studi literatur ini meliputi pembahasan tentang :

a. Propeller
b. Kavitasi Propeller
c. Computational Fluid Dynamic (CFD)

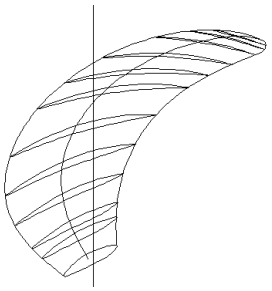
3.3. Pembuatan Model

Pembuatan model propeller dikerjakan dengan menggunakan software CAD. Model propeller yang akan dibuat disesuaikan dengan batasan masalah yang sudah ditentukan di awal, yaitu propeller yang digunakan adalah series C4-40 dengan spesifikasi sebagai berikut :

Diameter	= 243 mm
Model Pitch	= 1.4, 1.2, 1.0, dan 0.8
Expanded Area Ratio	= 0.40
Number of Blades	= 4

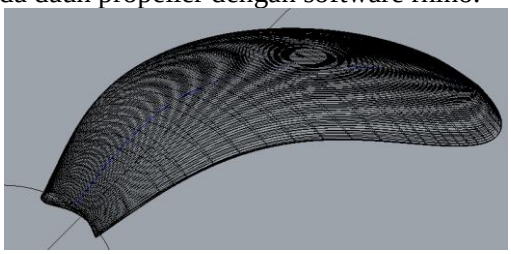
Untuk pembuatan model berikut adalah langkah-langkah dalam pembuatannya sebagai berikut:

a. Memasukan data propeller yang akan dimodelkan ke dalam software Computer Aided Design (CAD). Data propeller yang akan dimodelkan sesuai dengan batasan masalah yang sudah ditentukan sebelumnya, gambar 19. adalah gambar dalam bentuk CAD yaitu:



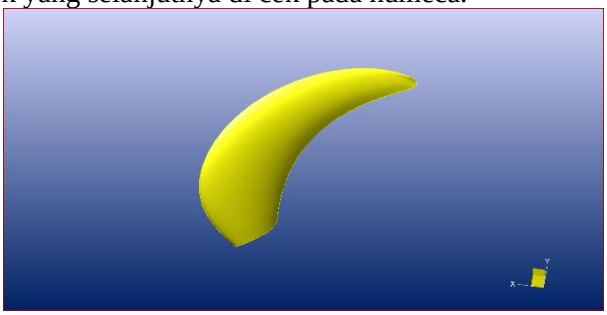
Gambar 19. Geometri propeller CAD

b. Setelah dihasilkan koordinat dari software Computer Aided Design (CAD) selanjutnya pembuatan surface pada daun propeller dengan software rhino.



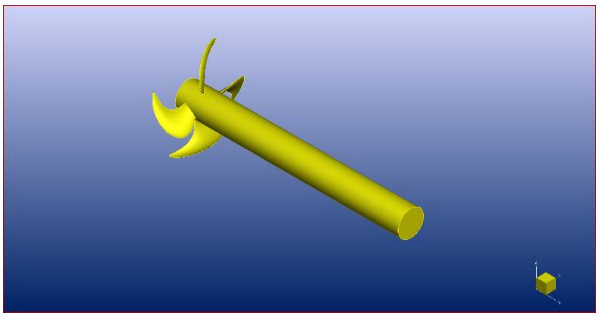
Gambar 20. Geometri Propeller Surface

c. Setelah pembuatan pada surface selanjutnya menyolidkan daun propeller menggunakan software solidwork yang selanjutnya di cek pada numeca.



Gambar 21. Geometri Propeller Solid

d. Setelah geometri berhasil solid maka untuk menyempurnakan daun dan hub menggunakan numeca.

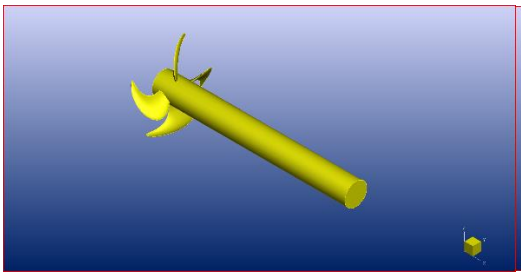


Gambar 22. Geometri Propeller

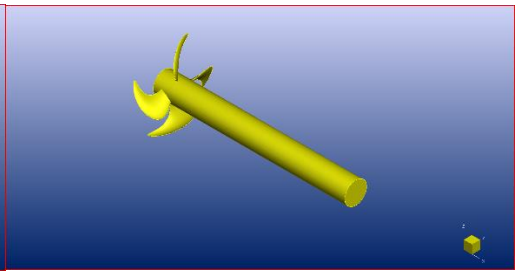
Sedangkan untuk model yang di simulasikan adalah seperti pada tabel 1. dan pada gambar 23. sebagai berikut:

Tabel 1. Variasi Model

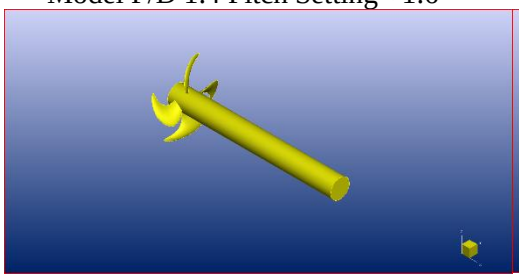
Propeller C4-40 series					
Model pitch ratio P/D	Model pitch setting P/D				
1.4	+1.6	+1.4	+1.2	-1.2	-1.0
1.2	+1.4	+1.2	+1.0	-1.2	-1.0
1	+1.2	+1.0	+0.8	-1.0	-0.8
0.8	+1.0	+0.8	+0.6	-1.0	-0.8



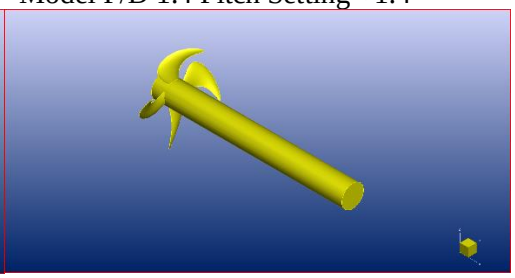
Model P/D 1.4 Pitch Setting +1.6



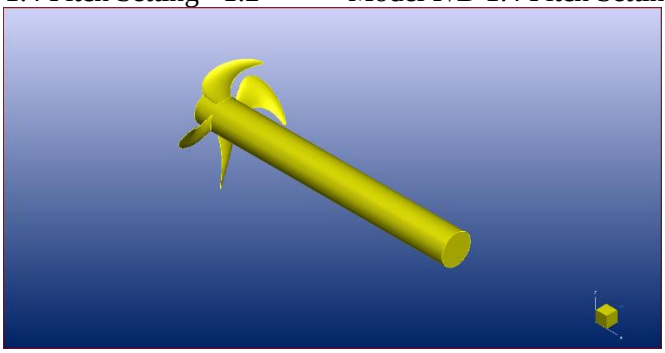
Model P/D 1.4 Pitch Setting +1.4



Model P/D 1.4 Pitch Setting +1.2



Model P/D 1.4 Pitch Setting -1.0



Model P/D 1.4 Pitch Setting -1.2

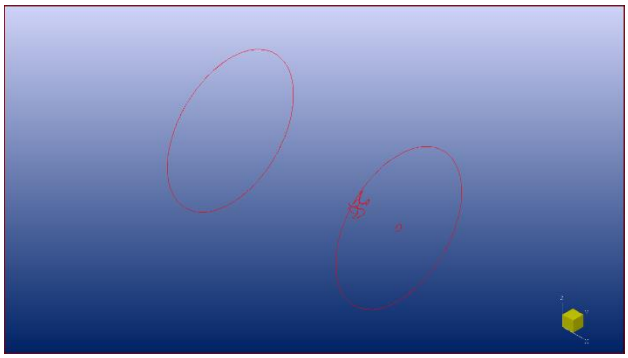
Gambar 23. Variasi Model

3.4. Simulasi Model

Setelah pembuatan model dikerjakan, maka langkah selanjutnya adalah pengujian model atau running. Pengujian model akan dilakukan dengan memberikan velocity advance propeller tersebut mengacu pada penelitian sebelumnya yaitu menggunakan 900 rpm. Model akan di running dengan parameter tersebut dengan variasi pitch dan variasi velocity advance (va). Pengujian terhadap model ini bertujuan untuk mengetahui kavitasi ada propeller akibat adanya variasi-variasi yang diberikan. Berikut adalah langkah dalam simulasi model :

a. Penentuan Batasan Model

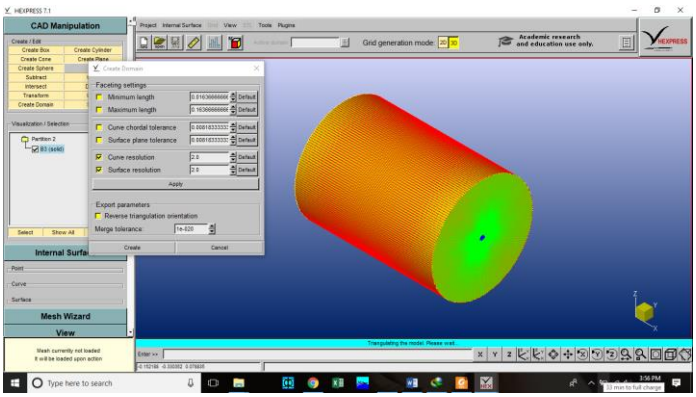
Penentuan batasan merupakan salah satu persyaratan agar geometri model yang sudah dibuat dapat disimulasikan pada software CFD. Penentuan batasan ini meliputi mendefinisian geometri untuk inlet, wall serta outlet. Pendefinisian geometri batasan tersebut diperuntukkan sebagai domain fluida air yang akan mengalir dengan ukuran diameter tabung 6 kali diameter propeller dan panjang tabung 8 kali diameter propeller.



Gambar 24. Ukuran domain

b. Meshing

Meshing merupakan suatau proses pembagian geometri model menjadi elemen-elemen dan node-node yang lebih kecil. Pada proses pengujian model dengan software CFD, setiap elemen-elemen tersebut yang akan diberikan perhitungan oleh software CFD. Besar meshing pada propeller lebih kecil / detail dari pada domain yang lain, sehingga didapatkan hasil yang lebih bagus. Dalam NUMECA Hexpress, adanya domain yang memiliki standar boundary agar hasil analisa bisa sesuai dengan keadaan lingkungan sebenarnya.

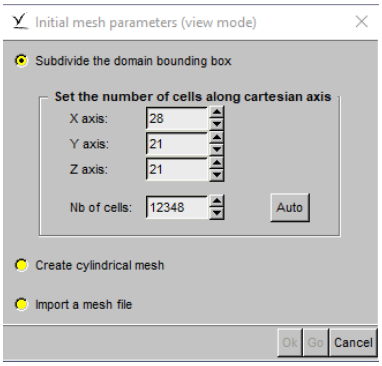


Gambar 25. Domain

Setelah membuat domain, proses meshing dapat dilakukan dengan urutan dalam proses meshing adalah sebagai berikut:

1. *Intial Mesh*

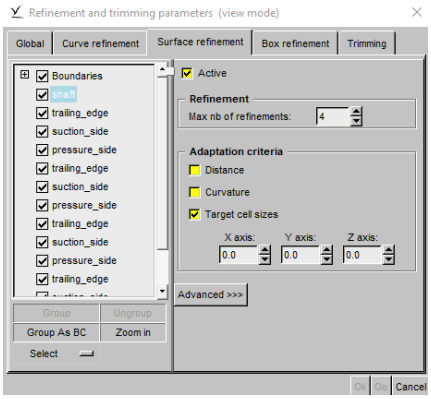
   Dalam Initial Mesh, dilakukan pembagian geometri seluruh domain. Domain dibagi menjadi cell berbentuk kotak sesuai dengan domain yang didefinisikan.



Gambar 26. *Initial Mesh*

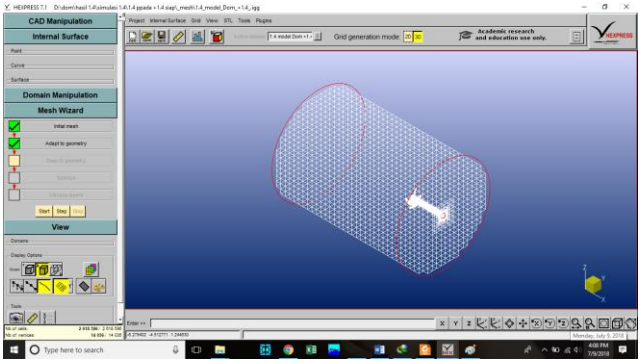
2. *Adapt to Geometry*

   Untuk parameter dari *adapt to geometry* yaitu:



Gamabar 27. *Adapt to Geometry*

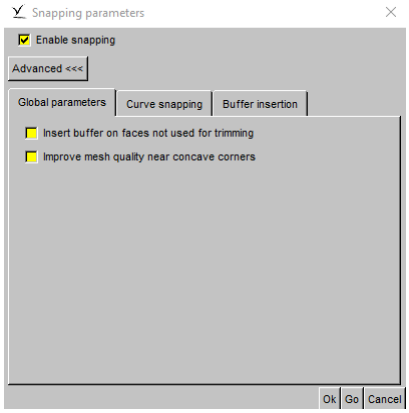
Dalam *Adapt to Geometry*, dilakukan *Refinement* terhadap cell-cell yang telah terbagi sesuai dengan bentuk geometri. Selain penghalusan, *Trimming* juga dilakukan yaitu menghapus terhadap cell-cell yang saling menyilang atau yangberlokasi diluar geometri.



Gamabar 28. Hasil *Adat to geometry*

3. *Snap to Geometry*

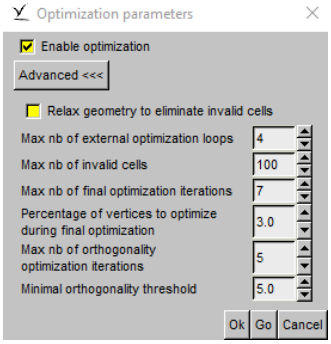
Tujuan dari langkah otomatis ini yaitu untuk memproyeksikan mesh yang didapat dari hasil sebelumnya terhadap bentuk geometri sehingga menghasilkan bentuk geometri yang halus.



Gambar 29. *Snap to Geometry*

4. *Optimize*

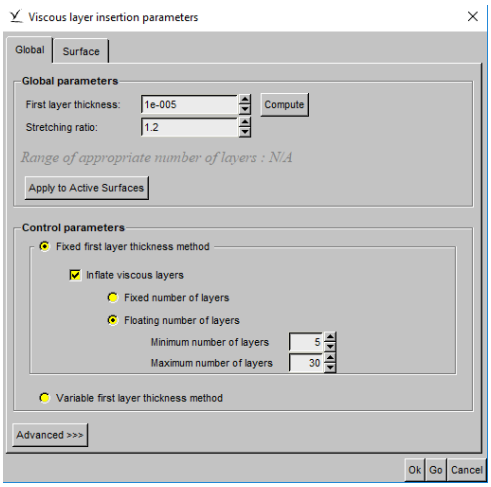
Dalam *Optimize*, dilakukan optimisasi terhadap hasil mesh yang memiliki kualitas buruk seperti *concave cells, negative cells, twisted cells* Untuk mengetahui kualitas dari cell dapat dilihat dengan menu *mesh quality*.



Gambar 30. *Optimize*

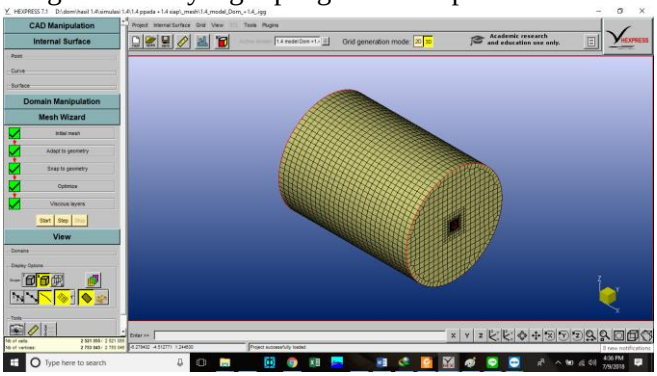
5. *Viscous Layers*

Untuk parameter dari *Viscous Layers* yaitu:



Gambar 31. *Viscous Layers*

Dalam Viscous Layers, dilakukan pendekatan yang spesifik dalam penyisipan lapisan viskos berdasarkan kecepatan sehingga dihasilkan angka Reynolds dan angka Froude yang dipengaruhi kecepatan dan ukuran propeller.



Gambar 32. Hasil Meshing

c. Simulasi atau running

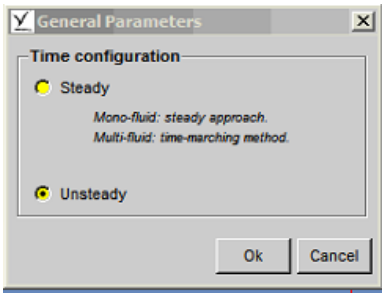
Geometri model yang telah selesai diberikan selanjutkan dapat dilakukan proses simulasi atau running dengan menggunakan metode Computational Fluid Dynamic (CFD). Proses simulasi ini menggunakan software CFX-solver, untuk melihat hasilnya. Dengan parameter yang sudah di tentukan seperti berikut:

a. Parameter

Parameter merupakan suata batasan atau nilai yang di masukan dalam sebuah method. Berikut adalah parameter yang terdapat pada NUMECA Fine Marine:

1. *General Parameter*

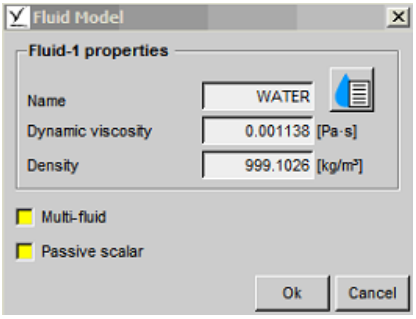
Dalam parameter umum ini mengenai konfigurasi waku pada hasil simulasi saat time step yang ditentukan. terdapat 2 pilihan yaitu *Steady* dan *Unsteady*. *Stea*dy digunakan apabila ingin mendapatkan hasil running pada saat time step terakhir dan *Unsteady* digunakan apabila ingin mendapatkan hasil simulasi pada saat time step tertentu. Dalam penelitian ini menggunakan unsteady.



Gambar 33. *General Parameter*

2. *Fluid Model*

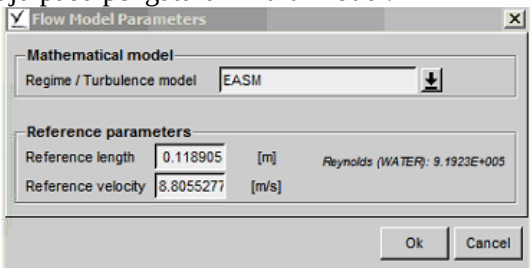
Dalam *konfigurasi Fluid Model* ini merupakan definisi fluida yang digunakan. Pada penelitian ini menggunakan fluid air.



Gambar 34. *Fluid Model*

3. *Flow Model*

Dalam *konfigurasi Flow Model* ini merupakan definisi untuk menentukan karakteristik dari aliran yang akan digunakan. terdapat dua pilihan yaitu laminar dan aliran turbulen serta intensitas dari gravitasi. Pada bagian Reference parameters untuk mendefinisikan perhitungan dari Froude number dan Reynolds number yang tertuju pada pengaturan *Fluid Model.*

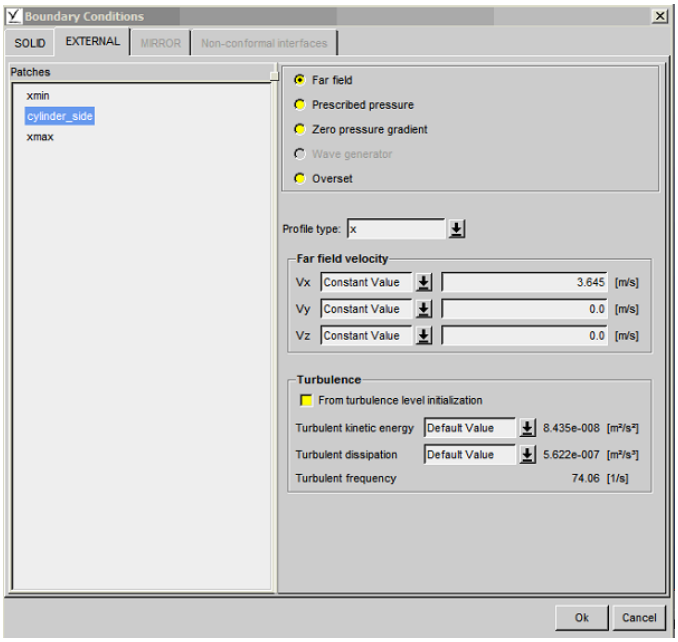


Gambar 35. *Flow Model*

4. *Boundary Condition*

Boundary Condition merupakan pendefinisian dari kondisi batasan-batasan yang akan disimulasikan. Pada konfigurasi kondisi solid yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan mendefinisikan propeller sebagai wall-function,

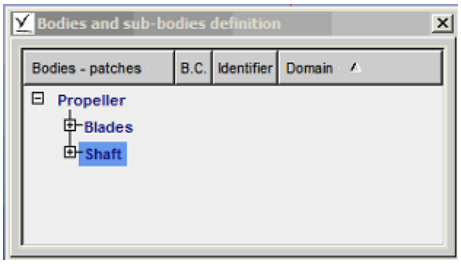
sedangkan shaft sebagai slip. Sedangkan pada kondisi external inlet dan cylinder dimasukan harga velocity advance pada sumbu x, sedangkan pada output dibuat prescribed pressure.



Gambar 36. *Boundary Condition*

5. *Body definition*

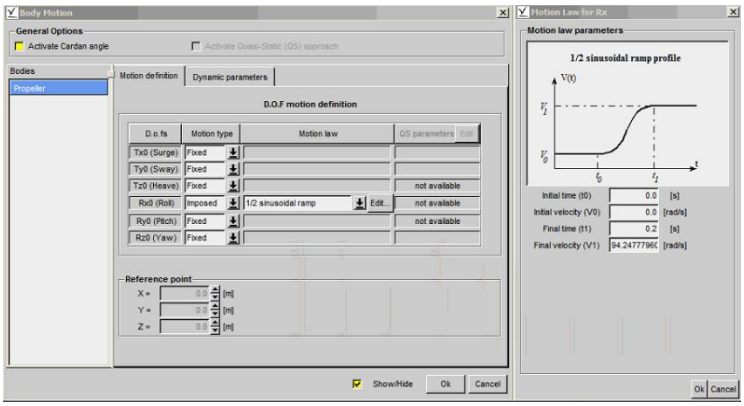
Body Definition dilakukan untuk menentukan bagian-bagian yang akan dijadikan sebuah badan yang akan diuji. Pada konfigurasi ini dalam satu grup dan di bagi 2 sub blade dan shaft.



Gambar 37. *Body definition*

6. *Body Motion*

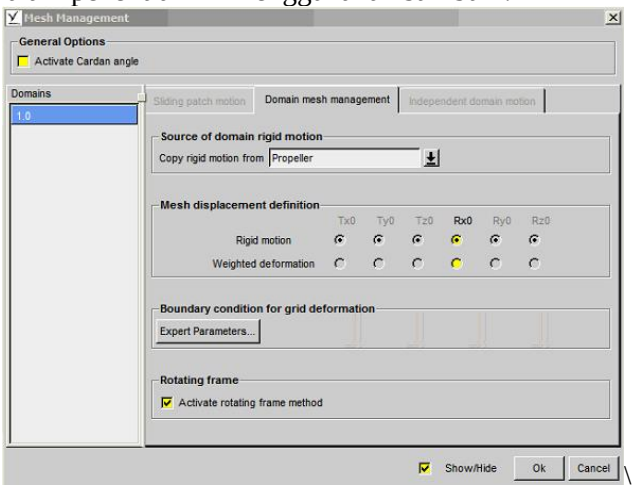
Body Motion merupakan bagian yang menentukan gerak dari benda yang akan diuji. Propeller tersebut di putar dengan kecepatan 900 rpm dan dalam penelitian ini menggunakan ½ sinusoidal ramp pada sumbu x.



Gambar 38. *Body Motion*

7. *Mesh Management*

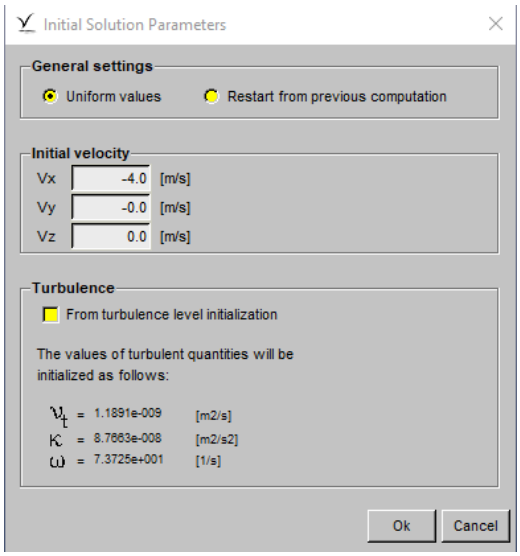
Mesh Management merupakan bagian yang menentukan untuk di putar atau di *rotation*. Dalam penelitian ini menggunakan sumbu x.



Gambar 39. *Mesh Management*

8. *Initial Solution*

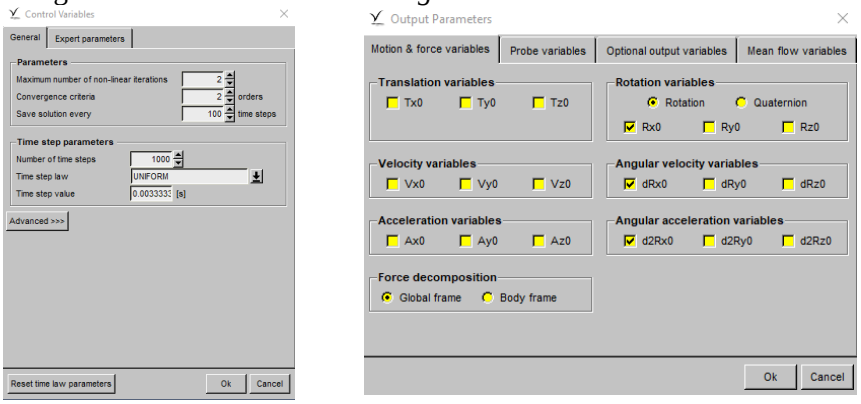
Initial Solution merupakan besarnya suatu kecepatan aliran pada sumbu putar. Dalam penelitian ini aliran yang digunakanada sumbu x.



Gambar 40. *Initial Solution*

9. *Computational Control Variables dan Output*

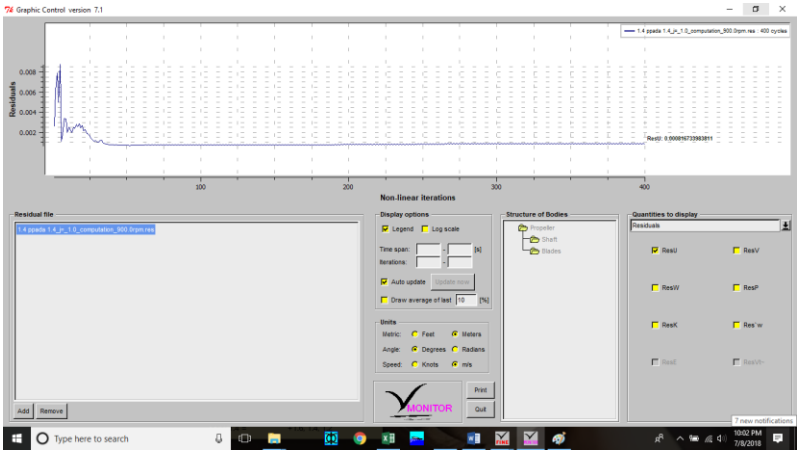
Control Variabel merupakan konfigurasi untuk menentukan perhitugan iterasi dan jumlah *Time step* yaitu periode gerakan kapal yang digunakan. *Output* untuk menentukan *variabel* hasil yang didapat dari simulasi. Setelah parameter-parameter sudah ditentukan maka simulasi dapat dijalankan dengan mengaktifkan *tombol solver running.*



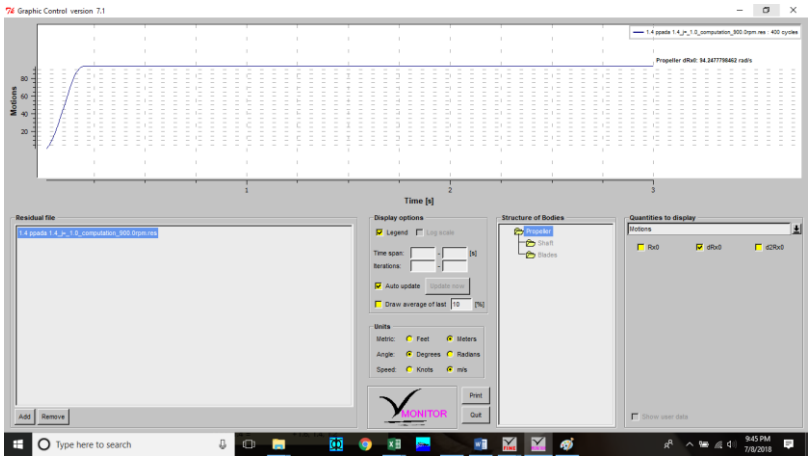
Gambar 41. *Computational Control Variables dan Output*

b. Hasil Simulasi

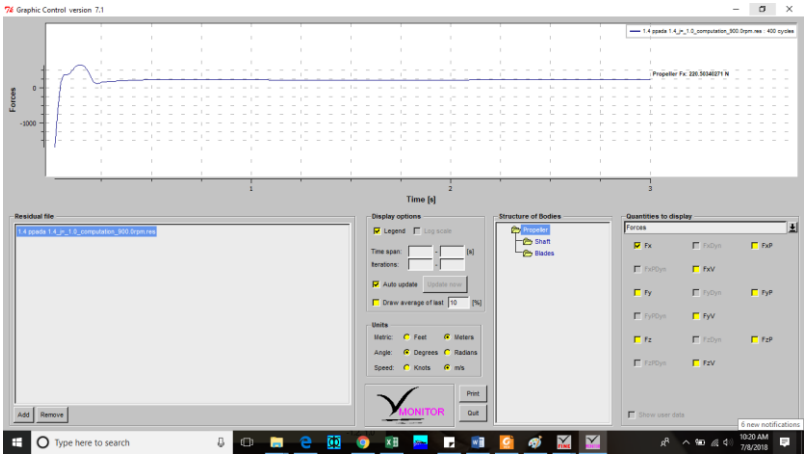
Proses selanjutnya setelah selesai running simulasi, maka data hasil simulasi dapat diperoleh dengan membaca grafik pada Monitor. Pada penelitian ini, data yang diambil berupa Motion, Thrust, Moment dan cavitation dalam CFview yaitu merupakan bagian yang terjadi terhadap sumbu x sehingga dalam grafik terbaca sebagai (Fx).



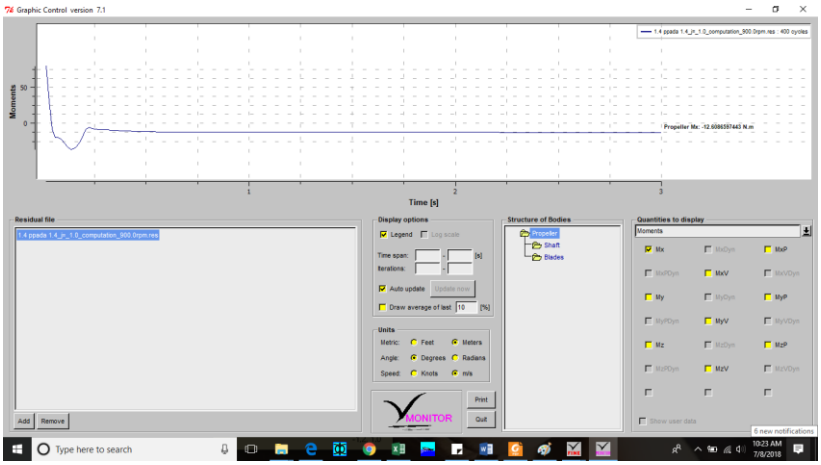
Gambar 42. Hasil Residuals



Gambar 43. Hasil Motion

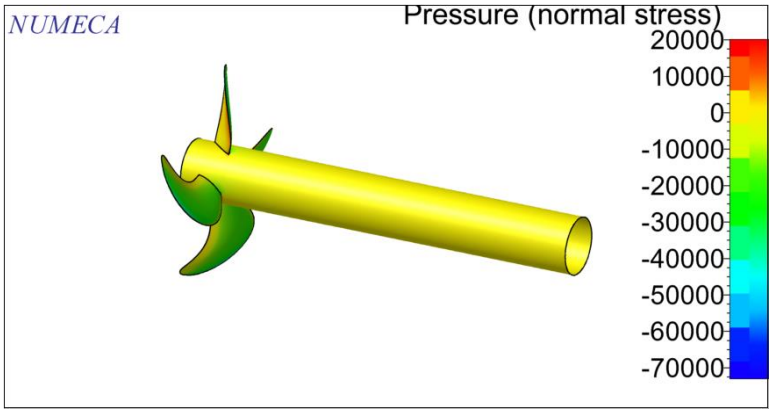


Gambar 44. Hasil force

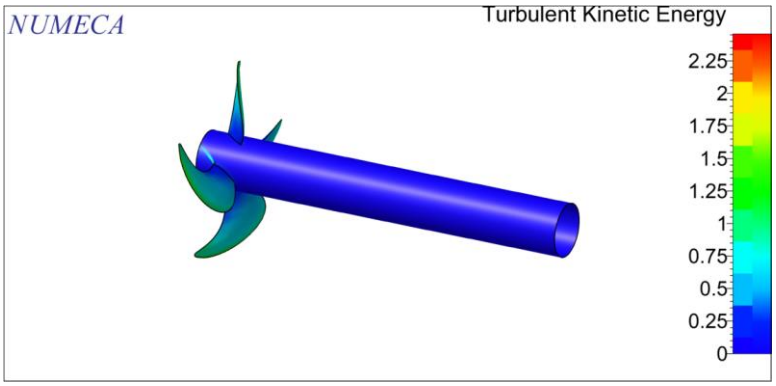


Gambar 45. Hasil Moments

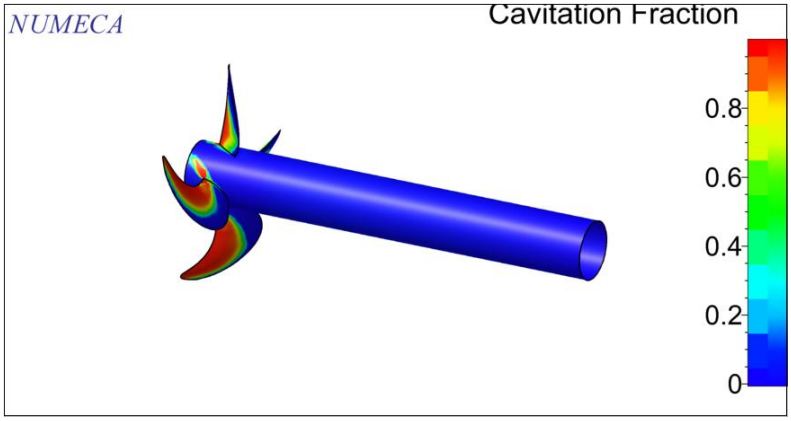
Untuk pembacaan data dan visual dari hasil simulasi CFD menggunakan CFView. Dalam tahapan ini, data yang diambil yaitu *pressure, turbulent kinetic energy* dan *cavitation raction.*



Gambar 46. Hasil pressure CFview



Gambar 47. Hasil turbulent kinetic energy CFview



Gambar 48. Hasil cavitation fraction CFview

d. Validasi

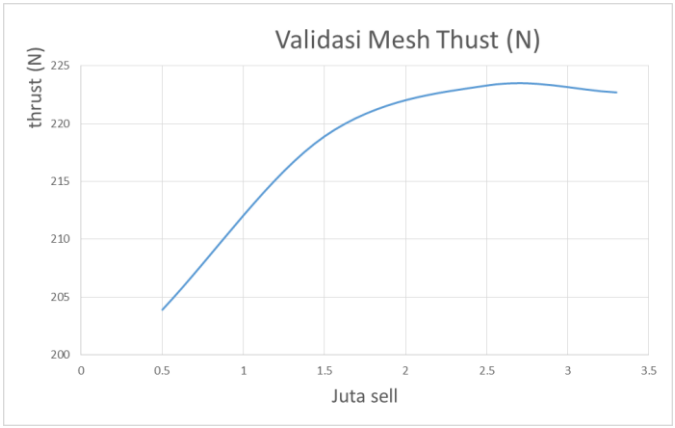
Validasi harus dilakukan terhadap hasil analisa yang telah dilakukan. Hal ini dilakukan untuk memastikan data yang dihasilkan memiliki keakuratan yang baik. Validasi terhadap elemen yang paling efektif agar data yang dihasilkan valid, sehingga dilakukan validasi sebagai berikut:

1. Validasi Meshing

Berikut adalah validasi meshing pada masing-masing jumlah cell untuk menentukan pada cell yang akan digunakan, dapat dilihat pada tabel 2. dan grafik 1. Validasi meshing:

Tabel 2. Validasi Meshing

Validasi Mesh pada Thrust Model P/D 1.4			
Cell juta	J	T (N)	waktu
0.5	1	203.9	
1.5	1	218.9	
2.5	1	223.3	
3.3	1	222.7	



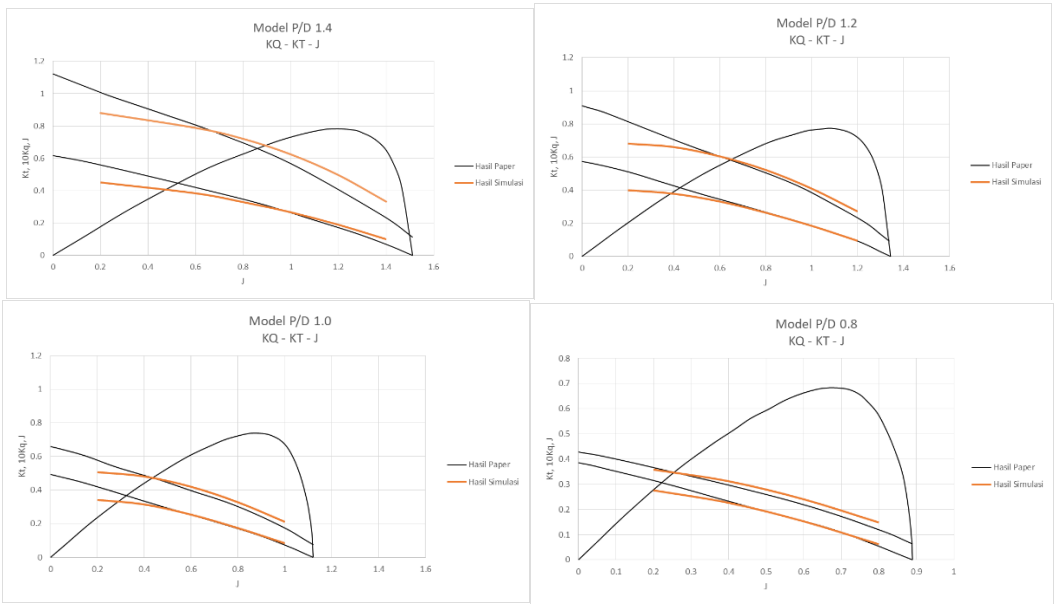
Grafik 1. Validasi Meshing

2. Validasi Model

Berikut adalah validasi geometry untuk menentukan geometry propeller yang digunakan sudah benar, dapat dilihat pada tabel 3. dan grafik 2. Validasi model:

Tabel 3. Validasi model

Model P/D 1.4													
Variasi Va					Hasil Paper					Hasil Simulasi			
RPM	rps	rad/s	Va	j	Kt	10Kq	Kq	T (N)	Q (Nm)	T (N)	Q (Nm)	T (%)	Q (%)
900	15	94.28571	0.729	0.2	0.5596	1.0079	0.10079	449.9965	19.69496	362.8	17.2	-19.3772	-12.668
900	15	94.28571	2.187	0.6	0.4199	0.8053	0.08053	337.6582	15.73604	308.7	15.4	-8.5762	-2.13548
900	15	94.28571	2.916	0.8	0.3478	0.6947	0.06947	279.6798	13.57485	264.8	14.08	-5.32029	3.721217
900	15	94.28571	3.645	1	0.2636	0.567	0.0567	211.9712	11.07952	214.4	12.2	1.14581	10.11311
900	15	94.28571	4.374	1.2	0.1716	0.4157	0.04157	137.9904	8.123025	152.3	9.7	10.37003	19.41365
900	15	94.28571	5.103	1.4	0.0689	0.2313	0.02313	55.40522	4.519739	80.5	6.5	45.29316	43.8136
Model P/D 1.2													
Variasi Va					Hasil Paper					Hasil Simulasi			
RPM	rps	rad/s	Va	j	Kt	10Kq	Kq	T (N)	Q (Nm)	T (N)	Q (Nm)	T (%)	Q (%)
900	15	94.28571	0.729	0.2	0.5109	0.816	0.0816	410.8349	15.94512	321.5	13.3	21.74473	16.58892
900	15	94.28571	1.458	0.4	0.4259	0.7039	0.07039	342.4831	13.75462	304.2	12.9	11.17809	6.213356
900	15	94.28571	2.187	0.6	0.3449	0.6034	0.06034	277.3478	11.79079	266.5	11.8	3.911251	0.078077
900	15	94.28571	2.916	0.8	0.2672	0.5056	0.05056	214.8661	9.879724	212.3	10.2	1.194286	3.241749
900	15	94.28571	3.645	1	0.1857	0.3843	0.03843	149.3287	7.50945	148.5	8	0.554973	6.532434
900	15	94.28571	4.374	1.2	0.0926	0.2345	0.02345	74.46333	4.582269	75.7	5.3	1.660775	15.66322
Model P/D 1.0													
Variasi Va					Hasil Paper					Hasil Simulasi			
RPM	rps	rad/s	Va	j	Kt	10Kq	Kq	T (N)	Q (Nm)	T (N)	Q (Nm)	T (%)	Q (%)
900	15	94.28571	0.729	0.2	0.4203	0.5783	0.05783	337.9799	11.30033	274.9	9.9	18.6638	12.3919
900	15	94.28571	1.458	0.4	0.3342	0.4871	0.04871	268.7435	9.518223	253.1	9.4	5.820968	1.242071
900	15	94.28571	2.187	0.6	0.2524	0.3968	0.03968	202.9648	7.753708	204.3	8.2	0.657824	5.755859
900	15	94.28571	2.916	0.8	0.1711	0.3019	0.03019	137.5883	5.899305	140.2	6.4	1.898203	8.487352
900	15	94.28571	3.645	1	0.0735	0.1748	0.01748	59.10426	3.415696	67.5	4.13	14.20496	20.91241
Model P/D 0.8													
Variasi Va					Hasil Paper					Hasil Simulasi			
RPM	rps	rad/s	Va	j	Kt	10Kq	Kq	T (N)	Q (Nm)	T (N)	Q (Nm)	T (%)	Q (%)
900	15	94.28571	0.729	0.2	0.3152	0.3663	0.03663	253.4648	7.157719	222.02	7	12.40599	2.203487
900	15	94.28571	1.458	0.4	0.2325	0.2968	0.02968	186.9625	5.799648	182.2	6.1	2.547286	5.178794
900	15	94.28571	2.187	0.6	0.1541	0.219	0.0219	123.9179	4.27939	122.9	4.7	0.821447	9.828738
900	15	94.28571	2.916	0.8	0.0536	0.1201	0.01201	43.10189	2.346825	49.9	2.9	15.7722	23.57119



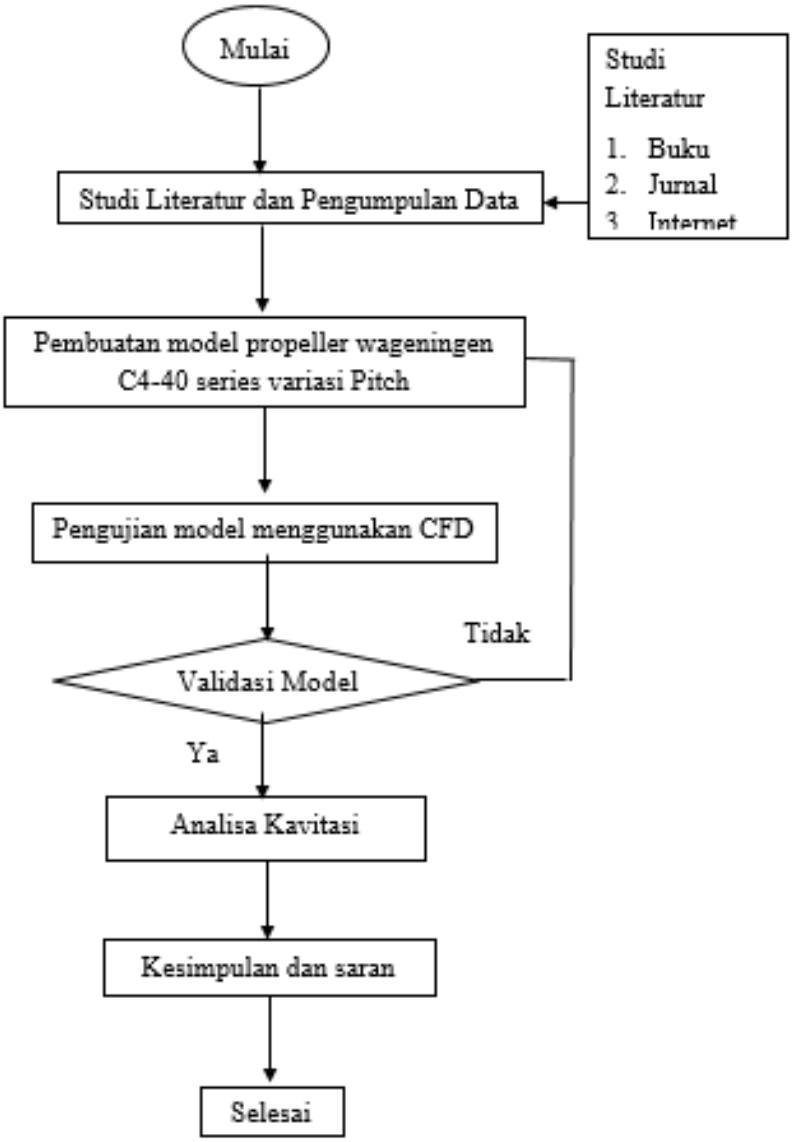
Grafik 2. Validasi model

Dari data tabel 3. validasi model dapat diambil untuk variasi *advance coefficient (J)* sehingga dapat digunakan adalah sebagai berikut:

1. Model P/D 1.4 menggunakan *advance coefficient (J)* yaitu 0.6, 0.8 dan 1.0
2. Model P/D 1.2 menggunakan *advance coefficient (J)* yaitu 0.6, 0.8 dan 1.0
3. Model P/D 1.0 menggunakan *advance coefficient (J)* yaitu 0.6, 0.8 dan 1.0
4. Model P/D 0.8 menggunakan *advance coefficient (J)* yaitu 0.4, 0.6 dan 0.8

3.5. Diagram Aliran

Metodologi yang dipakai untuk penyelesaian tugas akhir ini secara lengkap dapat dilihat pada gambar dibawah dengan tahapan-tahapan seperti berikut :



Gambar 49. Diagram aliran

3.5.1. Studi literature dan pengumpulan data

Studi literatur dilakukan guna lebih memahami permasalahan yang ada. Studi literature dilakukan dengan mengumpulkan dan mempelajari referensi-referensi yang berasal dari buku, jurnal, internet, wawancara serta diskusi, sedangkan unntuk pengumpulan data di peroleh dari sumber : marin.nl. seperti pada tabel 4. dan tabel 5. sebagai berikut:

Tabel 4. Parameter utama

MARIN

C4-Series Propeller Geometry

(Main parameters)

Version 1.1 / 19-06-2012

Project:	**C- and D-series JIP**
Client:	**Participants**
Date:	**Tuesday, April 17, 2018**

A_E/A_0	$P_{0.7R}/D_{prop}$	D_{prop}	D_{hub}/D_{prop}	D_{hub}	Z
[-]	[-]	[mm]	[-]	[mm]	[-]
0.4000	0.8000	243.00	0.2389	58.04	4

	r/R	r	C	P	S	X	f_{max}	t_{max}
	[-]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
Blade root	0.2389	29.02	31.37	164.26	-1.70	1.51	1.43	7.49
	0.3500	42.53	40.18	178.83	-4.45	1.33	1.97	6.18
	0.4000	48.60	44.22	183.87	-5.34	0.73	2.13	5.59
	0.5000	60.75	51.90	191.13	-5.48	-1.00	2.30	4.48
	0.6000	72.90	58.19	194.64	-2.53	-2.91	2.26	3.51
	0.7000	85.05	61.85	194.39	4.35	-4.32	2.01	2.70
	0.8000	97.20	61.05	190.39	15.61	-4.57	1.55	2.04
	0.8500	103.28	57.96	186.97	22.94	-4.05	1.24	1.75
	0.9000	109.35	51.94	182.62	31.38	-2.99	0.88	1.46
	0.9500	115.43	40.65	177.33	40.88	-1.30	0.47	1.17
	0.9750	118.46	30.57	174.34	46.01	-0.20	0.24	1.01
	0.9875	119.98	22.49	172.75	48.67	0.43	0.12	0.93
Blade tip	1.0000	121.50	0.00	171.10	51.39	1.10	0.00	0.85

Tabel 5. *Section profiles*

MARIN

C4-Series Propeller Geometry

(Section profiles)

Version 1.1 / 19-06-2012

r/R	L.E.												MID-CHORD												T.E.
X/C	0.0000	0.0050	0.0075	0.0125	0.0250	0.0500	0.0750	0.1000	0.1500	0.2000	0.2500	0.3000	0.3500	0.4000	0.4500	0.5000	0.5500	0.6000	0.6500	0.7000	0.7500	0.8000	0.8500	0.9000	0.9500	0.9750	1.0000
MACH EE(MOD) t/2	0.0000	0.0065	0.0092	0.0144	0.0466	0.0866	0.2525	0.2987	0.3524	0.4000	0.4365	0.4637	0.4832	0.4952	0.5000	0.4962	0.4845	0.4655	0.4393	0.4065	0.3662	0.3198	0.2692	0.1977	0.1445	0.0740	0.0000
MACH r-0.0 r	0.0000	0.0423	0.0535	0.0767	0.1501	0.2742	0.3657	0.4492	0.5963	0.6333	0.7305	0.8055	0.8282	0.8415	0.8361	0.8098	0.7674	0.7101	0.6434	0.5692	0.4924	0.4162	0.3422	0.2581	0.1715	0.0923	0.0000
0.2389 X	0.00	0.15	0.24	0.55	0.79	1.57	2.35	3.14	4.71	6.27	7.84	9.41	10.98	12.55	14.12	15.68	17.25	18.82	20.39	21.96	23.53	25.09	26.66	28.23	29.80	30.58	31.37
Yu	0.00	0.56	0.63	0.91	1.55	1.94	2.41	2.82	3.48	4.00	4.41	4.74	4.94	5.00	5.16	5.15	5.05	4.88	4.63	4.29	3.87	3.39	2.87	2.32	1.78	1.50	1.25
Yl	0.00	-0.44	-0.52	-0.65	-0.87	-1.15	-1.37	-1.54	-1.80	-2.00	-2.14	-2.24	-2.31	-2.34	-2.33	-2.29	-2.21	-2.09	-1.94	-1.75	-1.55	-1.33	-1.12	-0.89	-0.64	-0.46	-0.25
0.3500 X	0.00	0.20	0.30	0.58	1.08	2.01	3.01	4.02	6.03	8.04	10.04	12.05	14.06	16.07	18.08	20.08	22.09	24.10	26.12	28.13	30.13	32.14	34.15	36.16	38.17	39.17	40.18
Yu	0.00	0.43	0.52	0.82	1.22	1.81	2.28	2.68	3.34	3.85	4.26	4.57	4.80	4.96	5.04	5.04	4.96	4.81	4.57	4.25	3.84	3.34	2.64	1.87	1.04	0.62	0.21
Yl	0.00	-0.35	-0.38	-0.47	-0.59	-0.74	-0.84	-0.91	-1.02	-1.09	-1.14	-1.16	-1.17	-1.16	-1.14	-1.09	-1.03	-0.95	-0.85	-0.74	-0.63	-0.54	-0.43	-0.45	-0.37	-0.30	-0.24
0.4000 X	0.00	0.22	0.33	0.63	1.21	2.24	3.32	4.42	6.63	8.84	11.05	13.27	15.48	17.69	19.90	22.11	24.32	26.53	28.75	30.96	33.17	35.38	37.59	39.80	42.01	43.12	44.22
Yu	0.00	0.45	0.58	0.78	1.15	1.73	2.18	2.58	3.22	3.73	4.15	4.44	4.67	4.82	4.91	4.91	4.84	4.69	4.46	4.15	3.75	3.24	2.57	1.82	1.00	0.59	0.19
Yl	0.00	-0.28	-0.33	-0.39	-0.48	-0.58	-0.63	-0.67	-0.72	-0.74	-0.75	-0.75	-0.74	-0.72	-0.69	-0.64	-0.58	-0.51	-0.44	-0.36	-0.29	-0.24	-0.26	-0.28	-0.27	-0.24	-0.19
0.5000 X	0.00	0.26	0.39	0.65	1.38	2.58	3.85	5.13	7.70	10.26	12.82	15.39	17.95	20.52	23.08	25.65	28.21	30.78	33.34	35.91	38.47	41.04	43.60	46.17	48.73	50.02	51.30
Yu	0.00	0.49	0.58	0.80	1.02	1.52	1.97	2.35	2.93	3.40	3.77	4.05	4.26	4.40	4.47	4.47	4.41	4.27	4.06	3.78	3.41	2.95	2.34	1.66	0.91	0.53	0.17
Yl	0.00	-0.28	-0.29	-0.35	-0.39	-0.50	-0.53	-0.57	-0.59	-0.58	-0.56	-0.53	-0.49	-0.44	-0.39	-0.33	-0.28	-0.22	-0.17	-0.12	-0.08	-0.07	-0.08	-0.12	-0.15	-0.15	-0.15
0.6000 X	0.00	0.29	0.44	0.73	1.45	2.91	4.36	5.82	8.73	11.64	14.55	17.46	20.37	23.28	26.19	29.10	32.00	34.91	37.82	40.73	43.64	46.55	49.46	52.37	55.28	56.73	58.19
Yu	0.00	0.53	0.62	0.87	1.34	1.71	2.03	2.36	2.98	3.51	3.98	4.38	4.72	5.01	5.24	5.40	5.50	5.54	5.52	5.43	5.28	5.07	4.80	4.47	4.08	3.85	3.62
Yl	0.00	-0.14	-0.15	-0.16	-0.15	-0.15	-0.05	-0.01	0.03	0.07	0.09	0.10	0.10	0.09	0.08	0.06	0.04	0.02	0.00	-0.02	-0.04	-0.06	-0.08	-0.09	-0.10	-0.10	-0.10
0.7000 X	0.00	0.31	0.46	0.77	1.55	3.09	4.64	6.19	9.28	12.37	15.46	18.55	21.65	24.74	27.83	30.93	34.02	37.11	40.20	43.30	46.39	49.48	52.58	55.67	58.76	60.31	61.85
Yu	0.00	0.56	0.66	0.93	1.43	1.82	2.15	2.50	3.16	3.72	4.21	4.64	5.01	5.31	5.55	5.72	5.82	5.86	5.83	5.73	5.57	5.34	5.05	4.70	4.29	4.05	3.81
Yl	0.00	-0.15	-0.16	-0.18	-0.16	-0.16	-0.05	0.01	0.03	0.07	0.09	0.10	0.10	0.09	0.08	0.06	0.04	0.02	0.00	-0.02	-0.04	-0.06	-0.08	-0.09	-0.10	-0.10	-0.10
0.8000 X	0.00	0.31	0.46	0.76	1.53	3.05	4.58	6.10	9.15	12.21	15.26	18.31	21.37	24.42	27.47	30.52	33.58	36.63	39.68	42.73	45.78	48.84	51.89	54.94	57.99	59.52	61.05
Yu	0.00	0.58	0.68	0.95	1.44	1.80	2.09	2.43	3.08	3.61	4.08	4.49	4.85	5.14	5.37	5.54	5.64	5.68	5.65	5.56	5.40	5.18	4.90	4.55	4.16	3.93	3.70
Yl	0.00	-0.07	-0.07	-0.07	-0.05	0.00	0.05	0.10	0.15	0.20	0.23	0.25	0.26	0.26	0.25	0.23	0.21	0.18	0.15	0.12	0.08	0.05	0.02	0.00	-0.02	-0.03	-0.03
0.8500 X	0.00	0.29	0.43	0.72	1.45	2.89	4.33	5.80	8.69	11.58	14.48	17.38	20.28	23.18	26.08	28.98	31.88	34.77	37.67	40.57	43.47	46.37	49.26	52.16	55.06	56.51	57.96
Yu	0.00	0.57	0.67	0.93	1.43	1.80	2.09	2.43	3.08	3.61	4.08	4.49	4.85	5.14	5.37	5.54	5.64	5.68	5.65	5.56	5.40	5.18	4.90	4.55	4.16	3.93	3.70
Yl	0.00	-0.06	-0.07	-0.07	-0.06	-0.05	0.01	0.05	0.11	0.17	0.22	0.26	0.29	0.32	0.33	0.33	0.33	0.32	0.30	0.27	0.23	0.19	0.15	0.11	0.06	0.04	0.01
0.9000 X	0.00	0.26	0.38	0.65	1.30	2.60	3.90	5.19	7.79	10.38	12.98	15.58	18.18	20.78	23.37	25.97	28.57	31.17	33.76	36.36	38.96	41.55	44.15	46.75	49.35	50.65	51.94
Yu	0.00	0.49	0.62	0.85	1.34	1.69	1.97	2.28	2.89	3.39	3.81	4.16	4.44	4.64	4.77	4.83	4.82	4.74	4.59	4.37	4.08	3.72	3.28	2.77	2.19	1.88	1.57
Yl	0.00	-0.06	-0.07	-0.07	-0.06	-0.05	-0.03	0.00	0.05	0.09	0.12	0.14	0.15	0.15	0.15	0.14	0.13	0.11	0.09	0.06	0.03	0.00	-0.03	-0.06	-0.08	-0.09	-0.09
0.9500 X	0.00	0.20	0.30	0.51	1.02	2.03	3.05	4.07	6.10	8.13	10.16	12.20	14.23	16.26	18.29	20.33	22.36	24.39	26.42	28.46	30.49	32.52	34.55	36.59	38.62	39.63	40.65
Yu	0.00	0.38	0.48	0.66	0.97	1.47	1.85	2.18	2.73	3.18	3.55	3.85	4.08	4.25	4.35	4.39	4.37	4.29	4.15	3.95	3.69	3.37	2.97	2.51	1.98	1.70	1.42
Yl	0.00	-0.06	-0.07	-0.08	-0.10	-0.12	-0.12	-0.13	-0.14	-0.14	-0.14	-0.14	-0.13	-0.12	-0.11	-0.10	-0.09	-0.07	-0.06	-0.04	-0.04	-0.04	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.04
0.9750 X	0.00	0.15	0.23	0.39	0.78	1.55	2.33	3.11	4.66	6.22	7.77	9.32	10.87	12.43	13.98	15.53	17.08	18.64	20.19	21.74	23.30	24.85	26.40	27.96	29.51	30.29	31.07
Yu	0.00	0.28	0.36	0.49	0.73	1.11	1.40	1.66	2.08	2.42	2.71	2.95	3.14	3.28	3.37	3.41	3.40	3.34	3.24	3.09	2.90	2.66	2.37	2.03	1.64	1.42	1.20
Yl	0.00	-0.06	-0.07	-0.08	-0.11	-0.14	-0.17	-0.19	-0.22	-0.24	-0.25	-0.26	-0.27	-0.27	-0.27	-0.27	-0.26	-0.25	-0.24	-0.22	-0.20	-0.17	-0.15	-0.13	-0.10	-0.07	-0.05
0.9875 X	0.00	0.11	0.17	0.28	0.56	1.12	1.68	2.25	3.37	4.50	5.62	6.75	7.87	8.99	10.12	11.24	12.37	13.49	14.62	15.74	16.87	17.99	19.11	20.24	21.36	21.92	22.49
Yu	0.00	0.27	0.35	0.48	0.71	1.08	1.36	1.61	2.02	2.35	2.63	2.86	3.05	3.18	3.27	3.31	3.30	3.24	3.14	3.00	2.81	2.58	2.30	1.97	1.59	1.38	1.16
Yl	0.00	-0.06	-0.07	-0.08	-0.11	-0.14	-0.17	-0.19	-0.22	-0.24	-0.25	-0.26	-0.27	-0.27	-0.27	-0.26	-0.25	-0.24	-0.22	-0.20	-0.17	-0.15	-0.13	-0.10	-0.07	-0.05	-0.03
1.0000 X	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Yu	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Yl	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

3.5.2. Pembuatan model

Pembuatan model dilakukan sesuai dengan data yang diperoleh dari sumber : marin.nl untuk permodelan pemodelan propeller sesuai dengan data tersebut.

3.5.3. Pengujian model menggunakan CFD

Dalam pengujian ini dilakukan dengan berbagai variasi diantaranya adalah variasi pitch propeller.

3.5.4. Validasi hasil

Dari data yang seteh diuji dengan berbagai variasi apabila gambar tidak sesuai dengan data ataupu tidak meshing maka akan dilakukan penggambaran ulang dan apabila sesuai maka ditarik kesimpulan dan saran.

3.5.5. Kesimpulan dan saran

Pada tahap ini kesimpulan dibuat berdasarkan hasil dari analisa dan saran dibuat sebagai tolak ukur.

BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Propeller Model

Sebelumnya telah dilakukan pencarian data untuk mendapatkan geometri dari propeller C4-40 series untuk dibuat dalam pemodelan propeller, sehingga dapat dimodelkan dengan beberapa variasi yang akan dilakukan, sebagai berikut pada tabel 6.

Tabel 6. Variasi Model

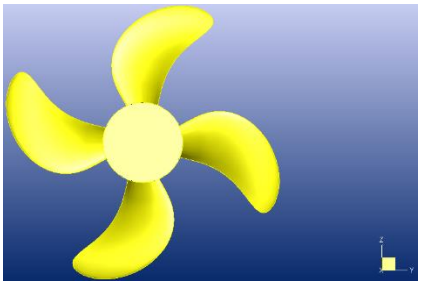
Propeller C4-40 series					
Model pitch ratio P/D	Model pitch setting P/D				
1.4	+1.6	+1.4	+1.2	-1.2	-1.0
1.2	+1.4	+1.2	+1.0	-1.2	-1.0
1	+1.2	+1.0	+0.8	-1.0	-0.8
0.8	+1.0	+0.8	+0.6	-1.0	-0.8

Untuk variasi *advance coefficient (J)* yang digunakan adalah

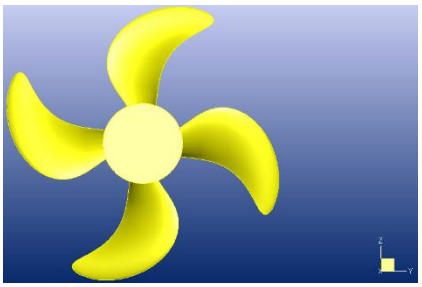
a. Model P/D 1.4 menggunakan *advance coefficient (J)* yaitu 0.6, 0.8 dan 1.0
b. Model P/D 1.2 menggunakan *advance coefficient (J)* yaitu 0.6, 0.8 dan 1.0
c. Model P/D 1.0 menggunakan *advance coefficient (J)* yaitu 0.6, 0.8 dan 1.0
d. Model P/D 0.8 menggunakan *advance coefficient (J)* yaitu 0.4, 0.6 dan 0.8

Data Pemodelan Propeller
Dimensi Utama Propeller C4-40 series
Diameter = 243 mm
Model Pitch = 1.4, 1.2, 1.0, dan 0.8
Expanded Area Ratio = 0.40
Number of Blades = 4

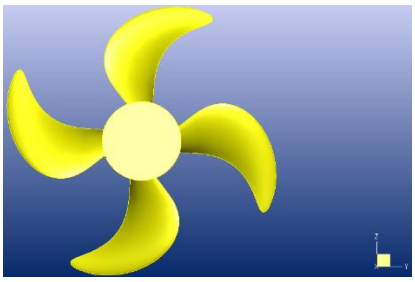
Berikut adalah gambar propeller C4-40 beserta gambar yang di peroleh dari paper pada gambar 50. dan gambar 51.:



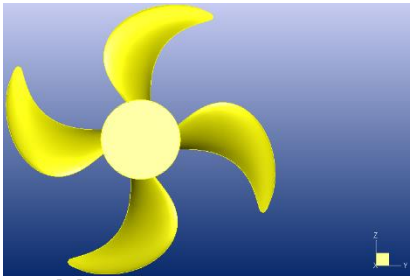
Model P/D = 0.8



Model P/D = 1.0

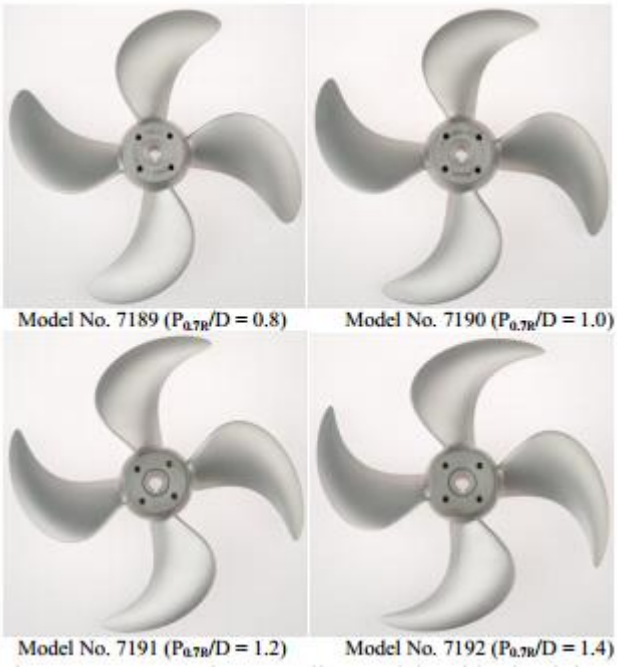


Model P/D = 1.2



Model P/D = 1.4

Gambar 50. Propeller C4-40



Gambar 51. Propeller C4-40 dari paper

4.2 Validasi Nilai

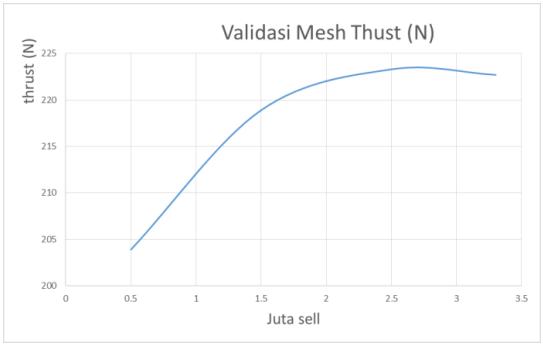
Validasi harus dilakukan terhadap hasil analisa yang telah dilakukan, pada simulasi dilakukan dengan cara tidak mengaktikan kavitasi agar hasil thrust dan moment sesuai dengan data yang sudah pernah dilakukan . Hal ini dilakukan untuk memastikan data yang dihasilkan memiliki keakuratan yang baik. Validasi terhadap elemen yang paling efektif agar data yang dihasilkan valid, pengujian dilakukan menggunakan *software* CFD FINE Marine sehingga dilakukan validasi sebagai berikut:

4.2.1 Validasi Meshing

Berikut adalah validasi meshing pada masing-masing jumlah cell untuk menentukan pada cell yang akan digunakan, dapat dilihat pada tabel 7. dan grafik 3. validasi meshing:

Tabel 7. Validasi Meshing

Validasi Mesh pada Thrust Model P/D 1.4		
Cell juta	J	T (N)
0.5	1	203.9
1.5	1	218.9
2.5	1	223.3
3.3	1	222.7



Gafik 3. Validasi Meshing

Dari tabel 4.2 dan graik 4.1 diatas pada sell 2.5 juta hasil *Thrust* mengalami kenaikan dari sell 1.5 juta sedangkan pada sell 3.3 juta Thrust mengalami penurunan. Untuk hasil Thrust yang akan mulai datar pada sell 2.5 juta, sehinngga pada meshingan tersebut digunakan 2.5 juta sell.

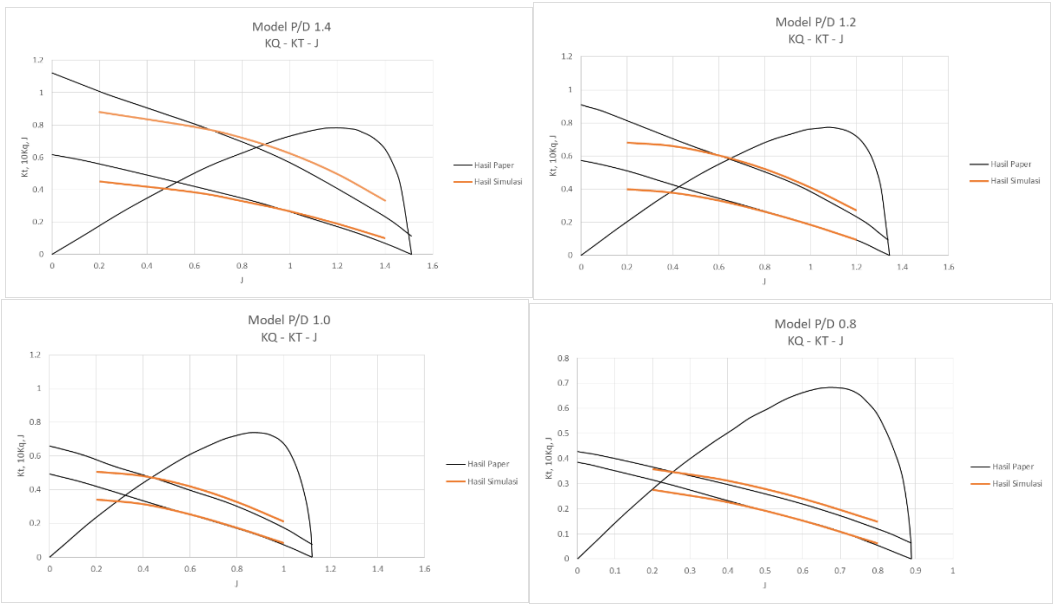
4.2.2 Validasi Model

Berikut adalah validasi geometry untuk menentukan geometry propeller yang digunakan sudah benar, dapat dilihat pada tabel 8. dan grafik 4. validasi model:

Tabel 8. Validasi Model

Model P/D 1.4													
Variasi Va					Hasil Paper					Hasil Simulasi			
RPM	rps	rad/s	Va	j	Kt	10Kq	Kq	T (N)	Q (Nm)	T (N)	Q (Nm)	T (%)	Q (%)
900	15	94.28571	0.729	0.2	0.5596	1.0079	0.10079	449.9965	19.69496	362.8	17.2	-19.3772	-12.668
900	15	94.28571	2.187	0.6	0.4199	0.8053	0.08053	337.6582	15.73604	308.7	15.4	-8.5762	-2.13548
900	15	94.28571	2.916	0.8	0.3478	0.6947	0.06947	279.6798	13.57485	264.8	14.08	-5.32029	3.721217
900	15	94.28571	3.645	1	0.2636	0.567	0.0567	211.9712	11.07952	214.4	12.2	1.14581	10.11311
900	15	94.28571	4.374	1.2	0.1716	0.4157	0.04157	137.9904	8.123025	152.3	9.7	10.37003	19.41365
900	15	94.28571	5.103	1.4	0.0689	0.2313	0.02313	55.40522	4.519739	80.5	6.5	45.29316	43.8136
Model P/D 1.2													
Variasi Va					Hasil Paper					Hasil Simulasi			
RPM	rps	rad/s	Va	j	Kt	10Kq	Kq	T (N)	Q (Nm)	T (N)	Q (Nm)	T (%)	Q (%)
900	15	94.28571	0.729	0.2	0.5109	0.816	0.0816	410.8349	15.94512	321.5	13.3	21.74473	16.58892
900	15	94.28571	1.458	0.4	0.4259	0.7039	0.07039	342.4831	13.75462	304.2	12.9	11.17809	6.213356
900	15	94.28571	2.187	0.6	0.3449	0.6034	0.06034	277.3478	11.79079	266.5	11.8	3.911251	0.078077
900	15	94.28571	2.916	0.8	0.2672	0.5056	0.05056	214.8661	9.879724	212.3	10.2	1.194286	3.241749
900	15	94.28571	3.645	1	0.1857	0.3843	0.03843	149.3287	7.50945	148.5	8	0.554973	6.532434
900	15	94.28571	4.374	1.2	0.0926	0.2345	0.02345	74.46333	4.582269	75.7	5.3	1.660775	15.66322

Model P/D 1.0													
Variasi Va					Hasil Paper					Hasil Simulasi			
RPM	rps	rad/s	Va	j	Kt	10Kq	Kq	T (N)	Q (Nm)	T (N)	Q (Nm)	T (%)	Q (%)
900	15	94.28571	0.729	0.2	0.4203	0.5783	0.05783	337.9799	11.30033	274.9	9.9	18.6638	12.3919
900	15	94.28571	1.458	0.4	0.3342	0.4871	0.04871	268.7435	9.518223	253.1	9.4	5.820968	1.242071
900	15	94.28571	2.187	0.6	0.2524	0.3968	0.03968	202.9648	7.753708	204.3	8.2	0.657824	5.755859
900	15	94.28571	2.916	0.8	0.1711	0.3019	0.03019	137.5883	5.899305	140.2	6.4	1.898203	8.487352
900	15	94.28571	3.645	1	0.0735	0.1748	0.01748	59.10426	3.415696	67.5	4.13	14.20496	20.91241
Model P/D 0.8													
Variasi Va					Hasil Paper					Hasil Simulasi			
RPM	rps	rad/s	Va	j	Kt	10Kq	Kq	T (N)	Q (Nm)	T (N)	Q (Nm)	T (%)	Q (%)
900	15	94.28571	0.729	0.2	0.3152	0.3663	0.03663	253.4648	7.157719	222.02	7	12.40599	2.203487
900	15	94.28571	1.458	0.4	0.2325	0.2968	0.02968	186.9625	5.799648	182.2	6.1	2.547286	5.178794
900	15	94.28571	2.187	0.6	0.1541	0.219	0.0219	123.9179	4.27939	122.9	4.7	0.821447	9.828738
900	15	94.28571	2.916	0.8	0.0536	0.1201	0.01201	43.10189	2.346825	49.9	2.9	15.7722	23.57119



Grafik 4. Validasi Model

Dari data tabel 4.3 dan graik 4.2 validasi model didapatkan pada model P/D 1.4, 1.2 dan 1.0 diambil dengan J= 0.6, 0.8 dan 1.0 dan model P/D 0.8 pada j=0.4, 0.6 dan 0.8 dengan hasil Thrust kurang dari 15%, sehingga *advance coefficient (J)* yang digunakan adalah sebagai berikut:

a. Model P/D 1.4 menggunakan *advance coefficient (J)* yaitu 0.6, 0.8 dan 1.0
b. Model P/D 1.2 menggunakan *advance coefficient (J)* yaitu 0.6, 0.8 dan 1.0
c. Model P/D 1.0 menggunakan *advance coefficient (J)* yaitu 0.6, 0.8 dan 1.0
d. Model P/D 0.8 menggunakan *advance coefficient (J)* yaitu 0.4, 0.6 dan 0.8

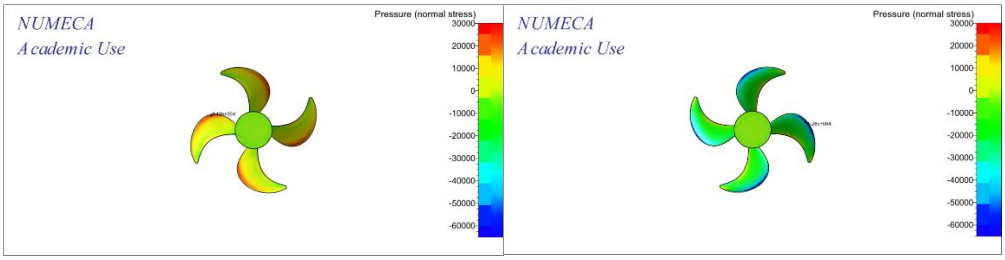
4.3 Analisa Hasil Simulasi

Pada hasil dari simulasi CFD mendapatkan hasil *Pressure*, *Turbulent Kinetic Energy* dan *Cavitation* adalah sebagai berikut:

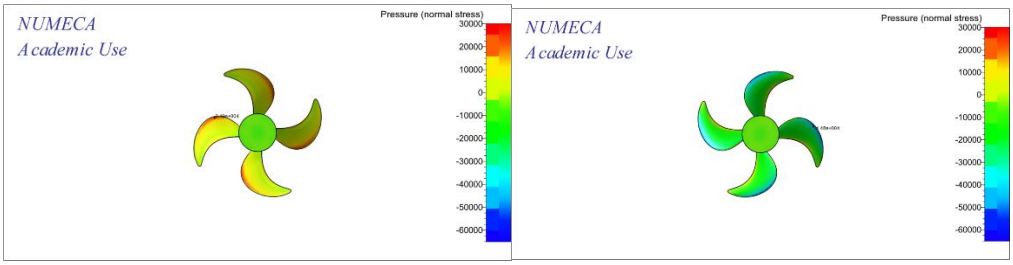
4.3.1 Hasil *Pressure*

Pada pengujian ini dilakukan dengan kavitasi tidak diaktifkan, dengan Contour Set Range yang sama yaitu -65000 sampai 30000 dapat dilihat sebagai berikut:

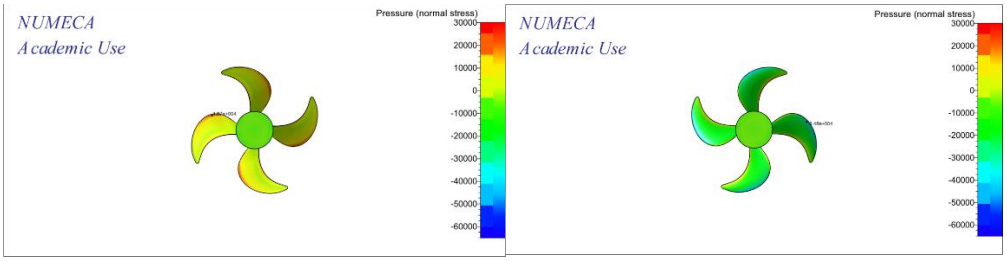
1. Hasil Simulasi dengan Perubahan *Advance Coefficient* (J)
   a. Model P/D 1.4.
      Hasil Simulasi dengan *Pitch Setting* +1.6.



Gambar 52. *Pressure J =0.6 face* dan *back.*



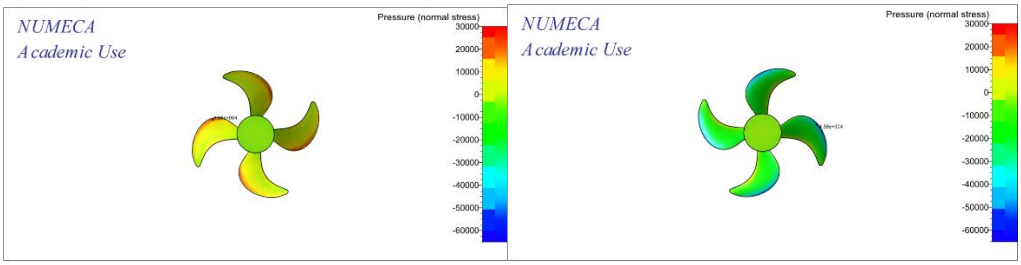
Gambar 53. *Pressure J =0.8 face* dan *back.*



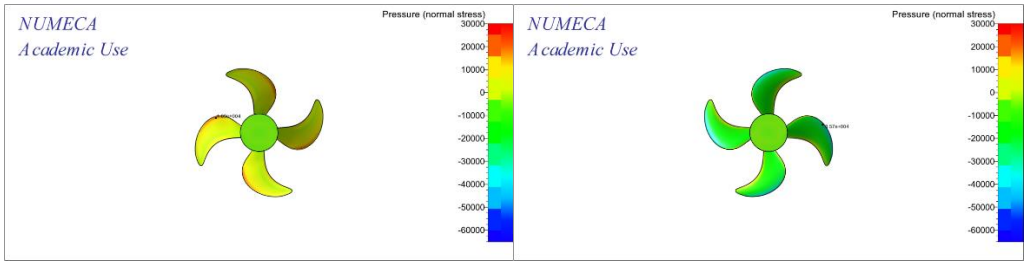
Gambar 54. *Pressure J =1.0 face* dan *back.*

Dari perbandingan gambar diatas dengan perubahan *Advance Coefficient* (J) pada bagian face dengan koordinat x=0.023 y=0.077 z=0.026 yang sama mengalami perubahan tekanan semakin kecil dengan j=0.6 adalah 24200 Pa, untuk j=0.8 adalah 21900 Pa, dan j=1.0 adalah 18700 Pa, atau dapat dilihat dengan contour warna merah tekanan semakin besar dengan j=1.0 sampai j=0.6. Sedangkan pada bagian back dengan koordinat x=0.015 y=0.096 z=0.014 yang sama mengalami perubahan tekanan semakin besar dengan j=0.6 adalah -52600 Pa, untuk j=0.8 adalah -44800 Pa, dan j=1.0 adalah -34800 Pa, atau dapat dilihat dengan contour warna biru tekanan semakin kecil dengan j=1.0 sampai j=0.6, untuk lebih spesifik dapat dilihat pada tabel 9.

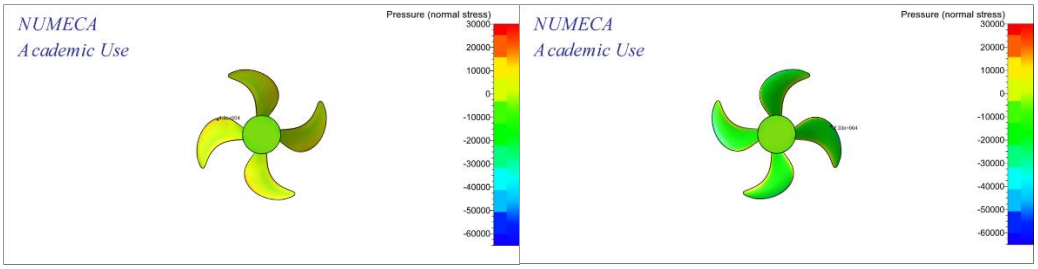
b. Model P/D 1.2.
Hasil Simulasi dengan *Pitch Setting* +1.4.



Gambar 55. *Pressure J =0.6 face* dan *back.*



Gambar 56. *Pressure J =0.8 face* dan *back.*



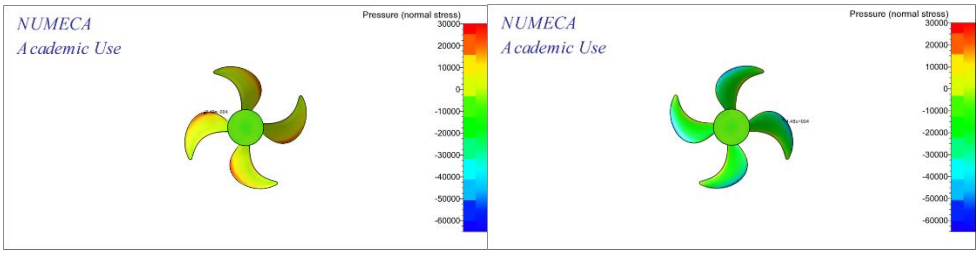
Gambar 57. *Pressure J =1.0 face* dan *back.*

Dari perbandingan gambar diatas dengan perubahan *Advance Coefficient* (J) pada bagian face dengan koordinat x=0.01609 y=0.09044 z=0.0198688 yang sama mengalami perubahan tekanan semakin kecil dengan j=0.6 adalah 20500 Pa, untuk j=0.8 adalah 17700 Pa, dan j=1.0 adalah 14300 Pa, atau dapat dilihat dengan contour warna merah tekanan semakin besar dengan j=1.0 sampai j=0.6. Sedangkan pada bagian back dengan koordinat x=0.014333 y=0.0995801 z=0.01599 yang sama mengalami perubahan tekanan semakin besar dengan j=0.6 adalah -40400 Pa, untuk j=0.8 adalah -29100 Pa, dan j=1.0 adalah -16400 Pa, atau dapat dilihat dengan contour warna biru tekanan semakin kecil dengan j=1.0 sampai j=0.6, untuk lebih spesifik dapat dilihat pada tabel 9.

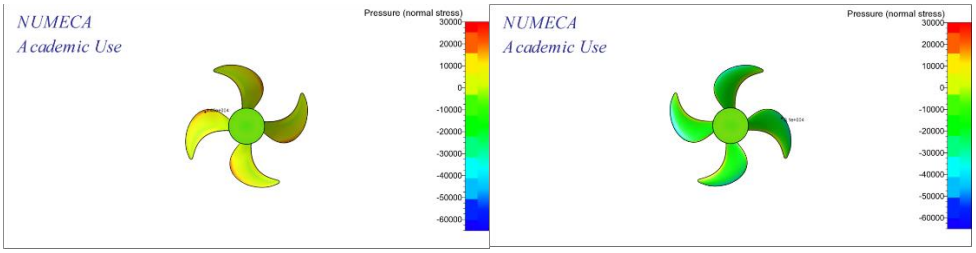
Tabel 9. Hasil Pressure Variasi *Advance Coefficient* (J).

Hasil Pressure Variasi (J) pada Model P/D 1.4						
Pitch Setting	Face			Back		
	j=0.6	j=0.8	j=1.0	j=0.6	j=0.8	j=1.0
+1.6	2.42E+04	2.19E+04	1.87E+04	-5.26E+04	-4.48E+04	-3.48E+04
+1.4	1.18E+04	1.46E+04	1.07E+04	-3.91E+04	-3.10E+04	-2.14E+04
+1.2	1.12E+04	7.87E+03	3.70E+03	-2.56E+04	-1.83E+04	-1.07E+04
-1.0	-1.13E+04	-8.09E+03	-4.66E+03	8.57E+03	5.61E+03	1.77E+03
-1.2	-1.62E+04	-1.22E+04	-8.34E+03	1.25E+04	9.58E+03	6.08E+03
Hasil Pressure Variasi (J) pada Model P/D 1.2						
Pitch Setting	Face			Back		
	j=0.6	j=0.8	j=1.0	j=0.6	j=0.8	j=1.0
+1.4	2.05E+04	1.77E+04	1.43E+04	-4.04E+04	-2.91E+04	-1.64E+04
+1.2	1.52E+04	1.16E+04	6.81E+03	-2.89E+04	-1.72E+04	-5.95E+03
+1.0	8.94E+03	4.61E+03	-1.04E+03	-1.64E+04	-7.00E+03	555
-1.0	-2.08E+04	-1.48E+04	-9.23E+03	1.07E+04	7.64E+03	3.62E=003
-1.2	-3.23E+04	-2.43E+04	-1.68E+04	1.53E+04	1.24E+04	8.91E+03
Hasil Pressure Variasi (J) pada Model P/D 1.0						
Pitch Setting	Face			Back		
	j=0.6	j=0.8	j=1.0	j=0.6	j=0.8	j=1.0
+1.2	1.75E+04	1.33E+04	7.80E+03	-3.67E+04	-2.50E+04	-1.20E+04
+1.0	1.02E+04	5.58E+03	-7.30E+02	-2.08E+04	-9.07E+03	-330
+0.8	3.22E+03	-2.04E+03	-9.47E+03	-4.24E+03	1.67E+03	4.58E+03
-0.8	-1.54E+04	-9.81E+03	-4.90E+03	1.00E+04	7.91E+03	5.04E+03
-1.0	-2.38E+04	-1.68E+04	-1.06E+04	1.24E+04	1.04E+04	8.45E+03
Hasil Pressure Variasi (J) pada Model P/D 0.8						
Pitch Setting	Face			Back		
	j=0.4	j=0.6	j=0.8	j=0.4	j=0.6	j=0.8
+1.0	1.72E+04	1.30E+04	7.44E+03	-4.15E+04	-2.83E+04	-1.30E+04
+0.8	1.04E+04	5.59E+03	-1.24E+03	-1.82E+04	-7.31E+03	1.71E+03
+0.6	2.43E+03	-3.10E+03	-1.10E+04	-2.04E+03	3.84E+03	7.68E+03
-0.8	-2.68E+04	-2.01E+04	-1.27E+04	1.59E+04	1.26E+04	9.09E+03
-1.0	-4.11E+04	-3.18E+04	-2.27E+04	2.08E+04	1.71E+04	1.37E+04

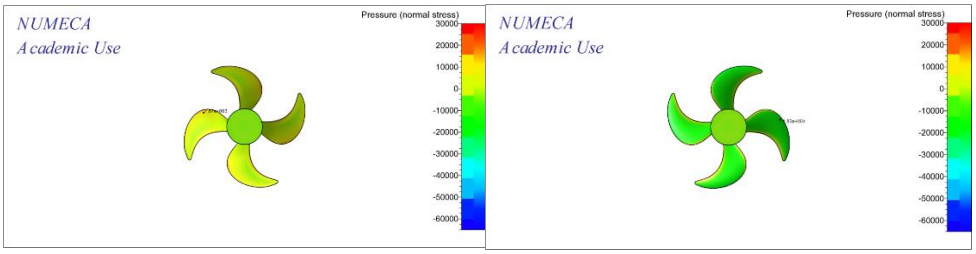
2. Hasil Simulasi dengan Perubahan *Pitch Setting*.
   a. Model P/D 1.4.
      Hasil Simulasi dengan *Advance Coefficient* (J) 0.8.



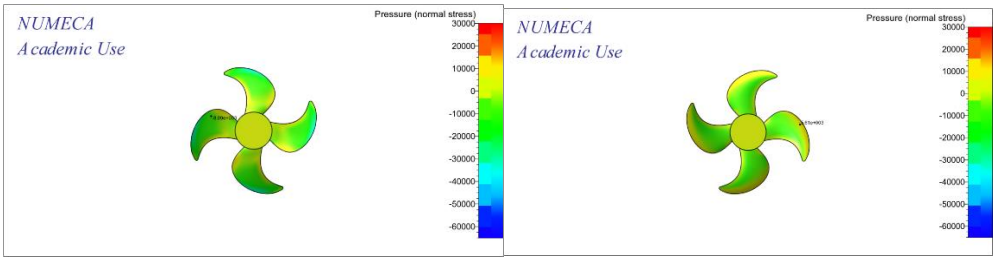
Gambar 58. *Pressure Pitch Setting* +1.6 *face* dan *back.*



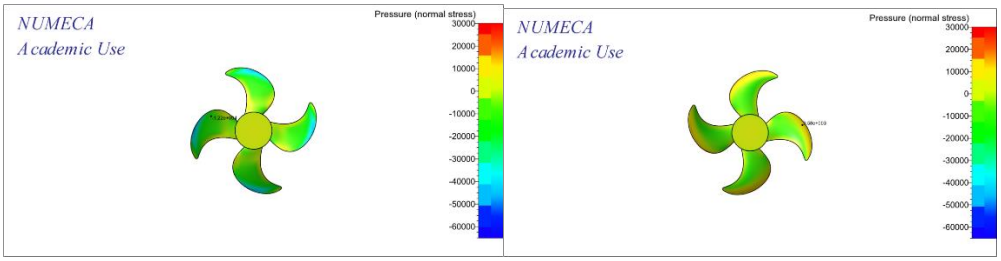
Gambar 59. *Pressure Pitch Setting* +1.4 *face* dan *back.*



Gambar 60. *Pressure Pitch Setting* +1.2 *face* dan *back.*



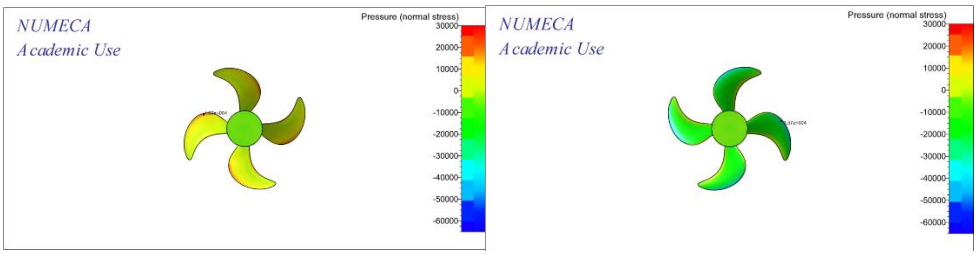
Gambar 61. *Pressure Pitch Setting* -1.0 *face* dan *back.*



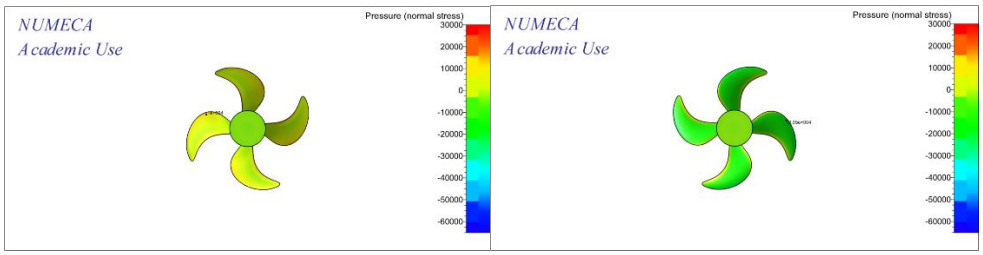
Gambar 62. *Pressure Pitch Setting* -1.2 *face* dan *back.*

Dari perbandingan gambar diatas dengan perubahan *Pitch Setting* pada bagian face dengan koordinat x=0.023 y=0.077 z=0.026 yang sama mengalami perubahan tekanan semakin kecil dengan *Pitch Setting* +1.6 adalah 21900 Pa, *Pitch Setting* +1.4 adalah 14600 Pa, *Pitch Setting* +1.2 adalah 7870 Pa, *Pitch Setting* -1.0 adalah -8090 Pa, dan *Pitch Setting* -1.2 adalah -12200 Pa, atau dapat dilihat dengan contour warna merah tekanan semakin besar dengan Pitch +1.2 samapai +1.6, untuk pitch -1.2 sampai -1.0 akan semakin besar. Sedangkan pada bagian back dengan koordinat x=0.015 y=0.096 z=0.014 yang sama mengalami perubahan tekanan semakin besar dengan *Pitch Setting* +1.6 adalah -44800 Pa, *Pitch Setting* +1.4 adalah -31000 Pa, *Pitch Setting* +1.2 adalah -18300 Pa, *Pitch Setting* -1.0 adalah 5610 Pa, dan *Pitch Setting* -1.2 adalah 9580 Pa, atau dapat dilihat dengan contour warna biru tekanan semakin kecil dengan Pitch +1.2 samapai +1.6, untuk pitch -1.2 sampai -1.0 akan semakin kecil, untuk lebih spesifik dapat dilihat pada tabel 10.

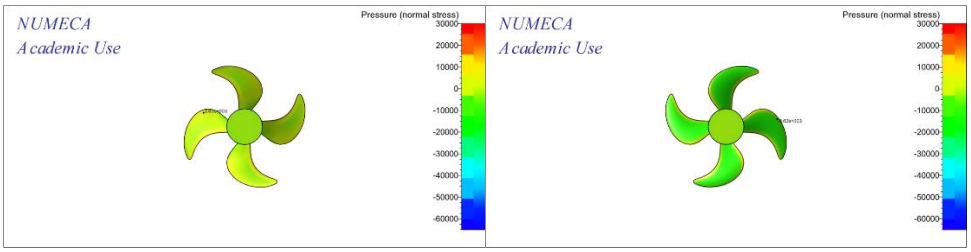
b. Model P/D 1.2.
Hasil Simulasi dengan *Advance Coefficient* (J) 0.8.



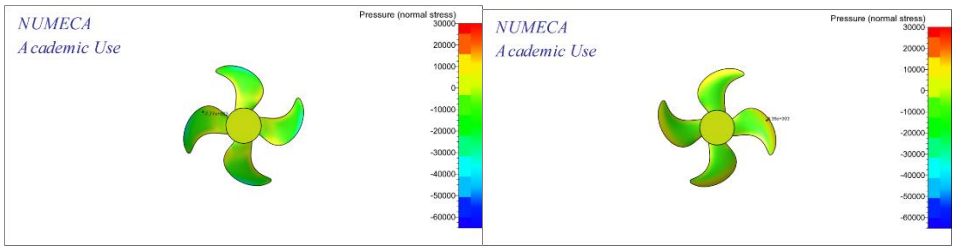
Gambar 63. *Pressure Pitch Setting* +1.4 *face* dan *back.*



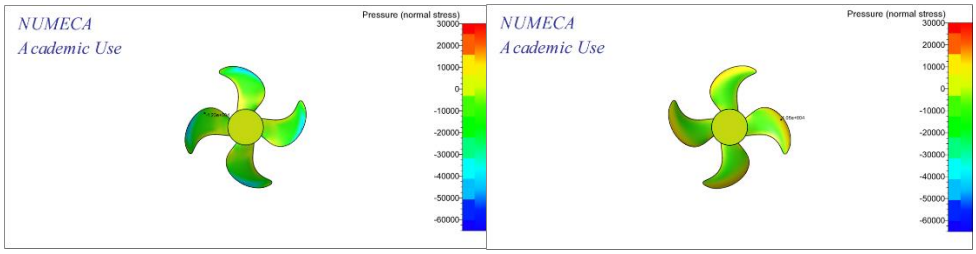
Gambar 64. *Pressure Pitch Setting* +1.2 *face* dan *back.*



Gambar 65. *Pressure Pitch Setting* +1.0 *face* dan *back.*



Gambar 66. *Pressure Pitch Setting* -1.0 *face* dan *back.*



Gambar 67. *Pressure Pitch Setting* -1.2 *face* dan *back.*

Dari perbandingan gambar diatas dengan perubahan *Pitch Setting* pada bagian face dengan koordinat x=0.01609 y=0.09044 z=0.0198688 yang sama mengalami perubahan tekanan semakin kecil dengan *Pitch Setting* +1.4 adalah 17700 Pa, *Pitch Setting* +1.2 adalah 11600 Pa, *Pitch Setting* +1.0 adalah 4610 Pa , *Pitch Setting* -1.0 adalah -14800 Pa, dan *Pitch Setting* -1.2 adalah -24300 Pa, atau dapat dilihat dengan contour warna merah tekanan semakin besar dengan Pitch +1.0 samapai +1.4, untuk pitch -1.2 sampai -1.0 akan semakin besar. Sedangkan pada bagian back dengan koordinat x=0.014333 y=0.0995801 z=0.01599 yang sama mengalami perubahan tekanan semakin besar dengan *Pitch Setting* +1.4 adalah -29100 Pa, *Pitch Setting* +1.2 adalah -17200 Pa, *Pitch Setting* +1.0 adalah -7000 Pa, *Pitch Setting* -1.0 adalah 7640 Pa, dan *Pitch Setting* -1.2 adalah 12400 Pa, atau dapat dilihat dengan contour warna biru tekanan semakin kecil dengan Pitch +1.0 samapai +1.4, untuk pitch -1.2 sampai -1.0 akan semakin kecil, untuk lebih spesifik dapat dilihat pada tabel 10.

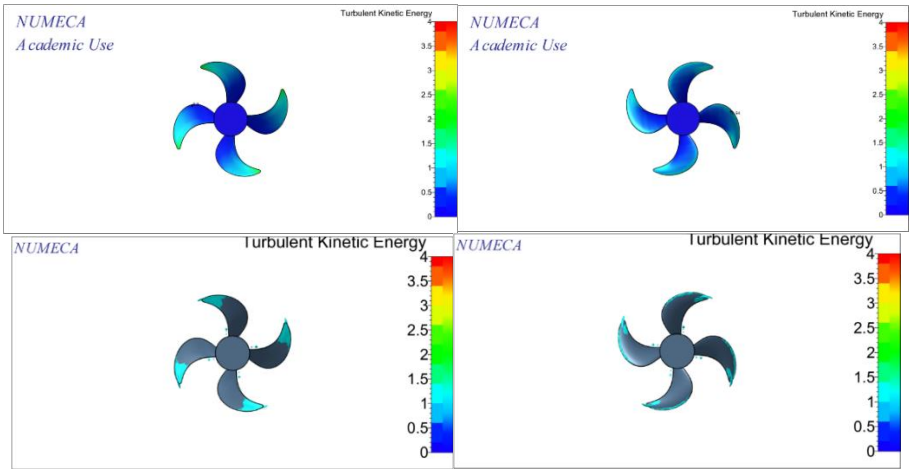
Tabel 10. Hasil Pressure Variasi *Pitch Setting.*

Hasil Pressure Variasi Pitch Setting pada Model P/D 1.4										
Advance	Face					Back				
Coefficient (J)	+1.6	+1.4	+1.2	-1.0	-1.2	+1.6	+1.4	+1.2	-1.0	-1.2
j=0.6	2.42E+04	1.18E+04	1.12E+04	-1.13E+04	-1.62E+04	-5.26E+04	-3.91E+04	-2.56E+04	8.57E+03	1.25E+04
j=0.8	2.19E+04	1.46E+04	7.87E+03	-8.09E+03	-1.22E+04	-4.48E+04	-3.10E+04	-1.83E+04	5.61E+03	9.58E+03
j=1.0	1.87E+04	1.07E+04	3.70E+03	-4.66E+03	-8.34E+03	-3.48E+04	-2.14E+04	-1.07E+04	1.77E+03	6.08E+03
Hasil Pressure Variasi Pitch Setting pada Model P/D 1.2										
Advance	Face					Back				
Coefficient (J)	+1.4	+1.2	+1.0	-1.0	-1.2	+1.4	+1.2	+1.0	-1.0	-1.2
j=0.6	2.05E+04	1.52E+04	8.94E+03	-2.08E+04	-3.23E+04	-4.04E+04	-2.89E+04	-1.64E+04	1.07E+04	1.53E+04
j=0.8	1.77E+04	1.16E+04	4.61E+03	-1.48E+04	-2.43E+04	-2.91E+04	-1.72E+04	-7.00E+03	7.64E+03	1.24E+04
j=1.0	1.43E+04	6.81E+03	-1.04E+03	-9.23E+03	-1.68E+04	-1.64E+04	-5.95E+03	555	3.62E=003	8.91E+03
Hasil Pressure Variasi Pitch Setting pada Model P/D 1.0										
Advance	Face					Back				
Coefficient (J)	+1.2	+1.0	+0.8	-0.8	-1.0	+1.2	+1.0	+0.8	-0.8	-1.0
j=0.6	1.75E+04	1.02E+04	3.22E+03	-1.54E+04	-2.38E+04	-3.67E+04	-2.08E+04	-4.24E+03	1.00E+04	1.24E+04
j=0.8	1.33E+04	5.58E+03	-2.04E+03	-9.81E+03	-1.68E+04	-2.50E+04	-9.07E+03	1.67E+03	7.91E+03	1.04E+04
j=1.0	7.80E+03	-7.30E+02	-9.47E+03	-4.90E+03	-1.06E+04	-1.20E+04	-330	4.58E+03	5.04E+03	8.45E+03
Hasil Pressure Variasi Pitch Setting pada Model P/D 0.8										
Advance	Face					Back				
Coefficient (J)	+1.0	+0.8	+0.6	-0.8	-1.0	+1.0	+0.8	+0.6	-0.8	-1.0
j=0.4	1.72E+04	1.04E+04	2.43E+03	-2.68E+04	-4.11E+04	-4.15E+04	-1.82E+04	-2.04E+03	1.59E+04	2.08E+04
j=0.6	1.30E+04	5.59E+03	-3.10E+03	-2.01E+04	-3.18E+04	-2.83E+04	-7.31E+03	3.84E+03	1.26E+04	1.71E+04
j=0.8	7.44E+03	-1.24E+03	-1.10E+04	-1.27E+04	-2.27E+04	-1.30E+04	1.71E+03	7.68E+03	9.09E+03	1.37E+04

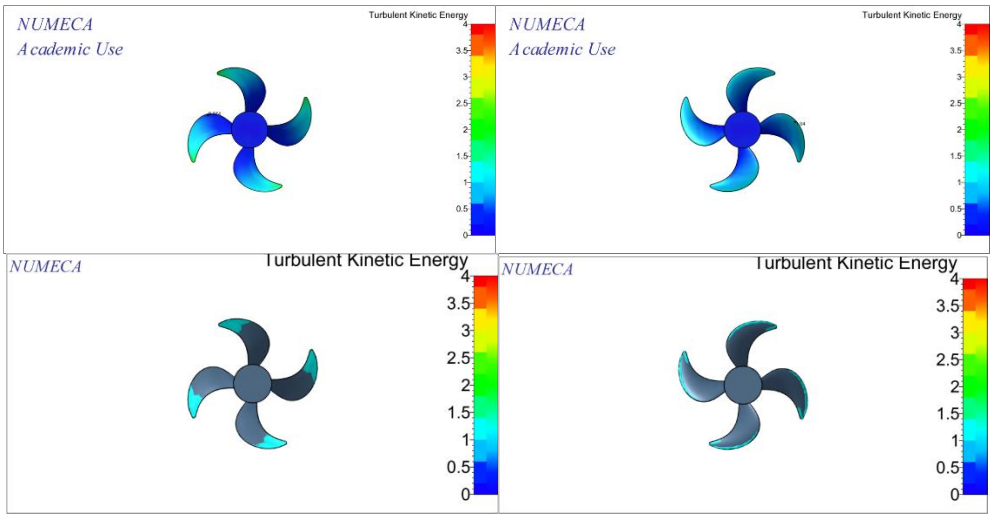
4.3.2 Hasil *Turbulent Kinetic Energy*

Pada pengujian ini dilakukan dengan kavitasi tidak diaktifkan, dengan Contour Set Range yang sama yaitu 0 sampai 4 pada iso surface value 1, dapat dilihat sebagai berikut:

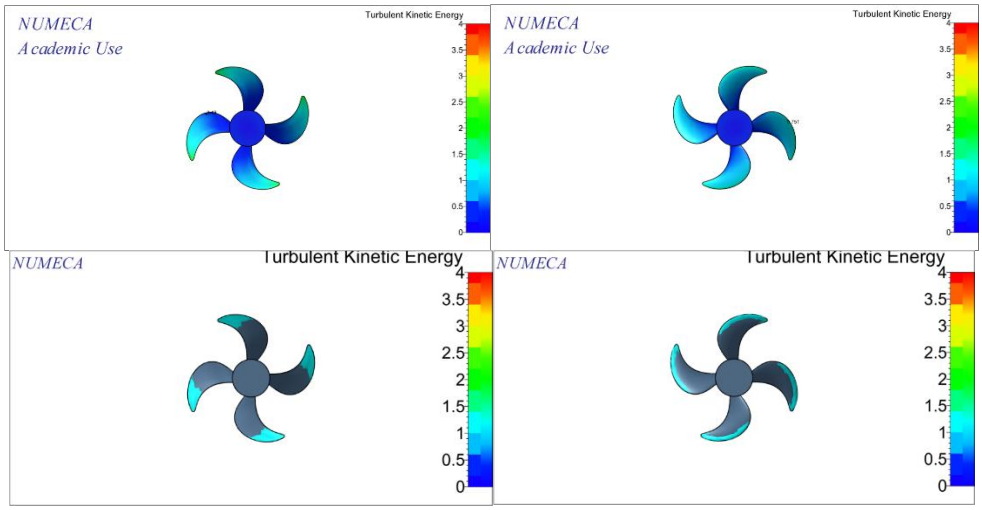
1. Hasil Simulasi dengan Perubahan *Advance Coefficient* (J)
   a. Model P/D 1.4.
      Hasil Simulasi dengan *Pitch Setting* +1.6.



Gambar 68. *TKE J =0.6 face* dan *back.*



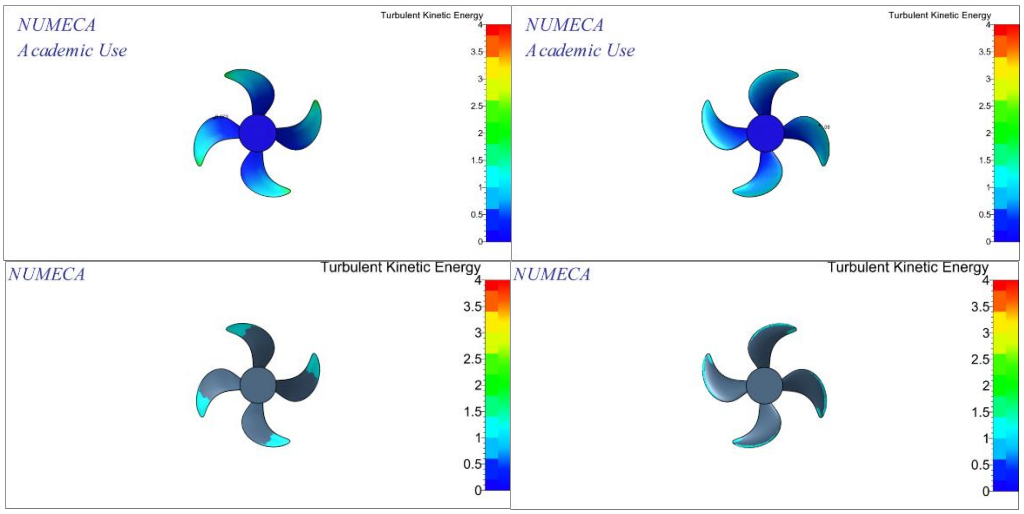
Gambar 69. *TKE J =0.8 face* dan *back.*



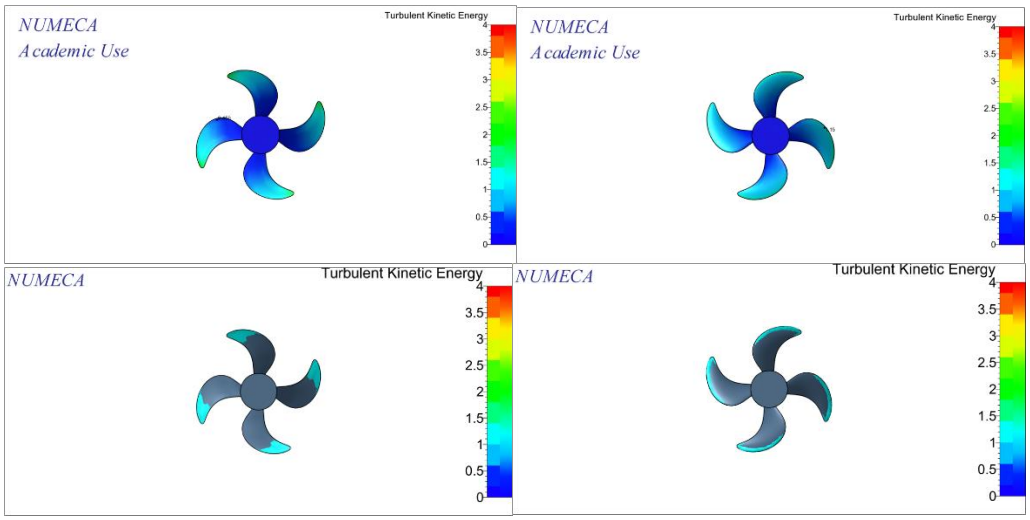
Gambar 70. *TKE J =1.0 face* dan *back.*

Dari perbandingan gambar diatas dengan perubahan *Advance Coefficient* (J) pada bagian face dengan koordinat x= 0.023 y= 0.077 z= 0.026 yang sama mengalami perubahan *Turbulent Kinetic Energy* semakin besar dengan j=0.6 adalah 0.3, untuk j=0.8 adalah0.37, dan j=1.0 adalah 0.48. Sedangkan pada bagian back dengan koordinat x= 0.015 y= 0.096 z= 0.014 yang sama mengalami perubahan *Turbulent Kinetic Energy* semakin besar dengan j=0.6 adalah 0.94, untuk j=0.8 adalah 1.04, dan j=1.0 adalah 1.15, atau dapat dilihat dengan iso surface dengan setting pitch +1.6 sampai +1.2 akan semakin membesar, untuk lebih spesifik dapat dilihat pada tabel 11.

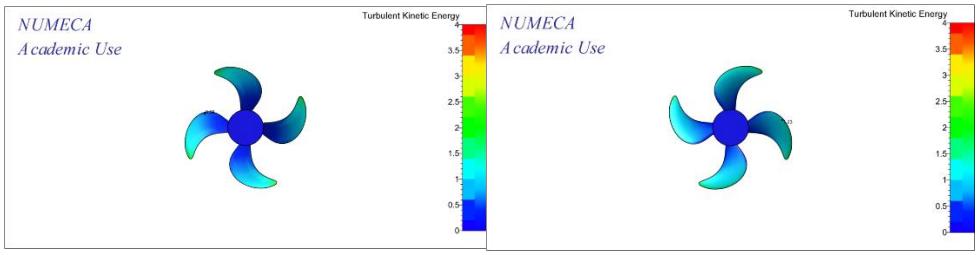
b. Model P/D 1.2.
Hasil Simulasi dengan *Pitch Setting* +1.4.

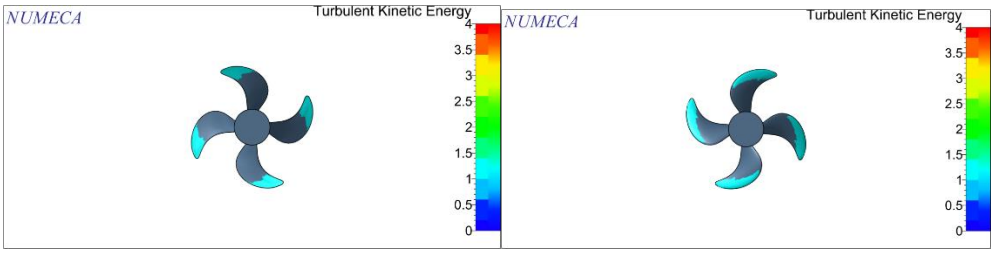


Gambar 71. *TKE J =0.6 face* dan *back.*



Gambar 72. *TKE J =0.8 face* dan *back.*





Gambar 73. *TKE J =1.0 face* dan *back.*

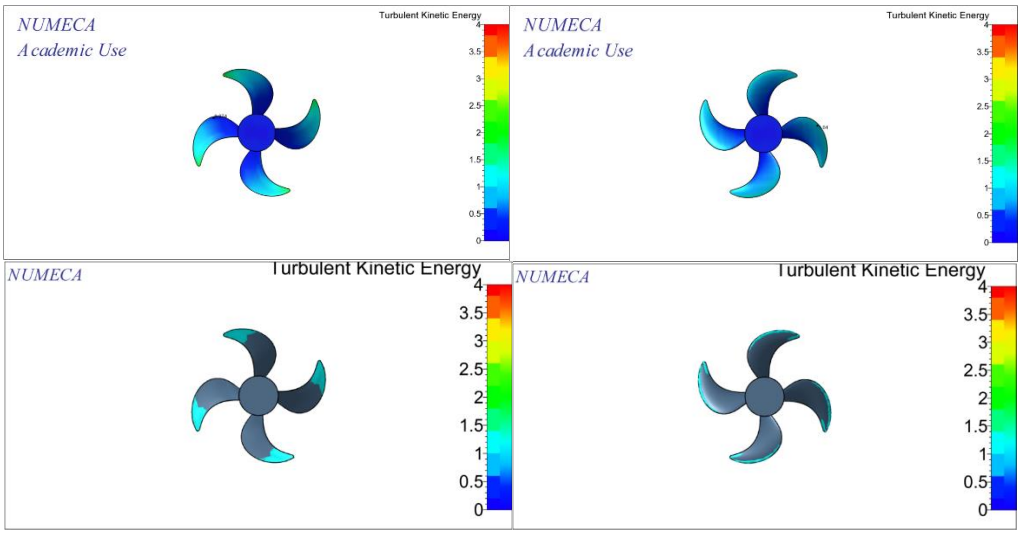
Dari perbandingan gambar diatas dengan perubahan *Advance Coefficient* (J) pada bagian face dengan koordinat x= 0.01609 y= 0.09044 z= 0.0198688 yang sama mengalami perubahan *Turbulent Kinetic Energy* semakin besar dengan j=0.6 adalah 0.526, untuk j=0.8 adalah 0.601, dan j=1.0 adalah 0.712. Sedangkan pada bagian back dengan koordinat x= 0.014333 y= 0.09580 z= 0.01599 yang sama mengalami perubahan *Turbulent Kinetic Energy* semakin besar dengan j=0.6 adalah 1.07, untuk j=0.8 adalah 1.13, dan j=1.0 adalah 1.21, atau dapat dilihat dengan iso surface dengan setting pitch +1.4 sampai +1.0 akan semakin membesar, untuk lebih spesifik dapat dilihat pada tabel 11.

Tabel 11. Hasil *Turbulent Kinetic Energy* Variasi *Advance Coefficient* (J).

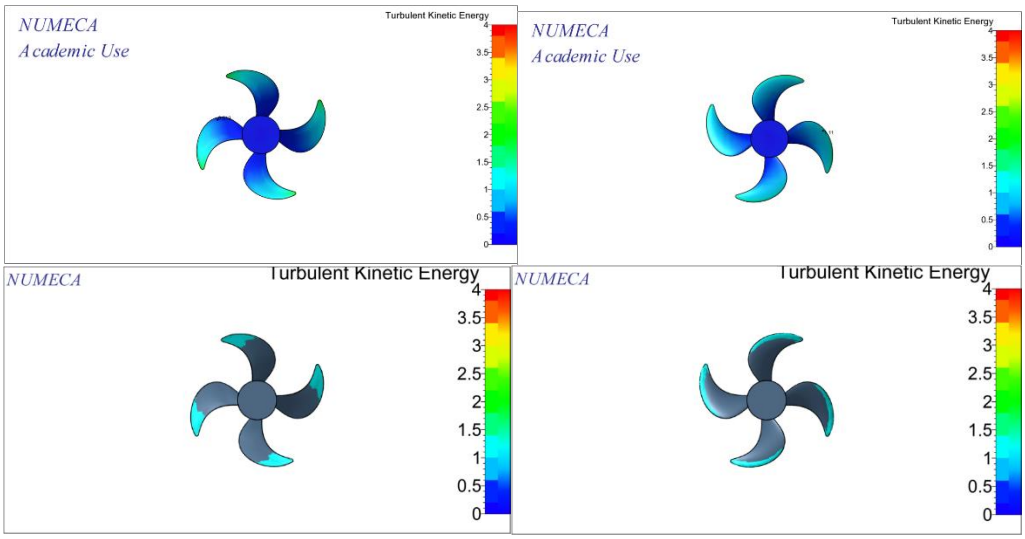
Hasil Pressure Variasi (J) pada Model P/D 1.4						
Pitch Setting	Face			Back		
	j=0.6	j=0.8	j=1.0	j=0.6	j=0.8	j=1.0
+1.6	0.3	0.37	0.48	0.94	1.04	1.15
+1.4	0.431	0.512	0.622	1.01	1.11	1.19
+1.2	0.519	0.603	0.715	1.06	1.13	1.16
-1.0	0.765	0.828	0.851	0.819	0.895	0.992
-1.2	0.682	0.792	0.873	0.765	0.835	0.925
Hasil Pressure Variasi (J) pada Model P/D 1.2						
Pitch Setting	Face			Back		
	j=0.6	j=0.8	j=1.0	j=0.6	j=0.8	j=1.0
+1.4	0.526	0.601	0.712	1.07	1.13	1.21
+1.2	0.636	0.722	0.833	1.16	1.21	1.17
+1.0	0.743	0.847	0.93	1.1	1.08	1.02
-1.0	0.821	0.918	1.01	0.809	0.888	0.991
-1.2	0.776	0.855	0.967	0.738	0.81	0.91

Hasil Pressure Variasi (J) pada Model P/D 1.0						
Pitch Setting	Face			Back		
	j=0.6	j=0.8	j=1.0	j=0.6	j=0.8	j=1.0
+1.2	0.697	0.775	0.911	1.37	1.46	1.51
+1.0	0.775	0.877	0.966	1.4	1.41	1.36
+0.8	0.871	0.924	0.951	1.36	1.28	1.28
-0.8	0.874	0.976	1.05	1.06	1.13	1.23
-1.0	0.785	0.883	0.994	1.07	1.13	1.2
Hasil Pressure Variasi (J) pada Model P/D 0.8						
Pitch Setting	Face			Back		
	j=0.4	j=0.6	j=0.8	j=0.4	j=0.6	j=0.8
+1.0	0.695	0.775	0.895	1.31	1.37	1.41
+0.8	0.834	0.937	1.03	1.43	1.34	1.24
+0.6	0.931	0.965	0.961	1.26	1.18	1.15
-0.8	0.785	0.869	0.982	0.94	1.01	1.11
-1.0	0.832	0.801	0.875	0.877	0.943	1.02

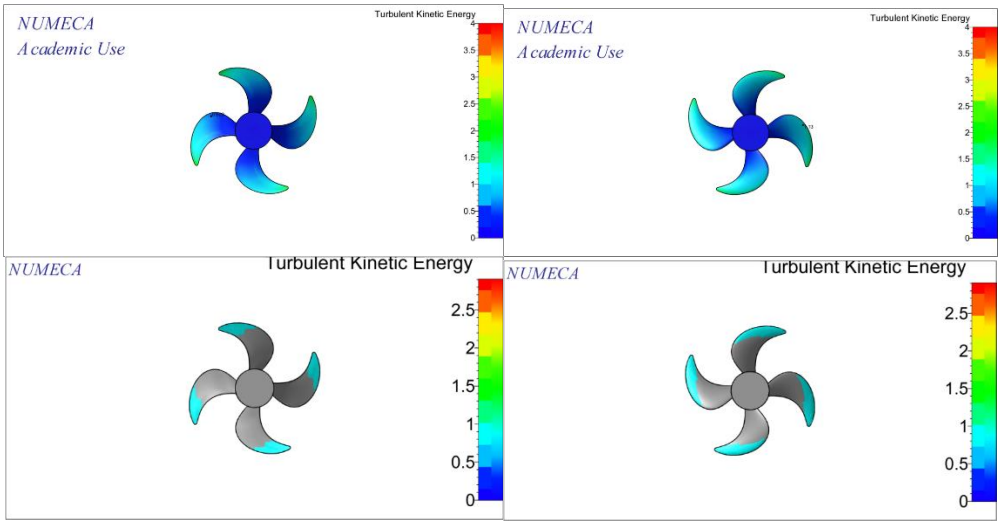
2. Hasil Simulasi dengan Perubahan *Pitch Setting.*
   a. Model P/D 1.4.
      Hasil Simulasi dengan *Advance Coefficient* (J) 0.8.



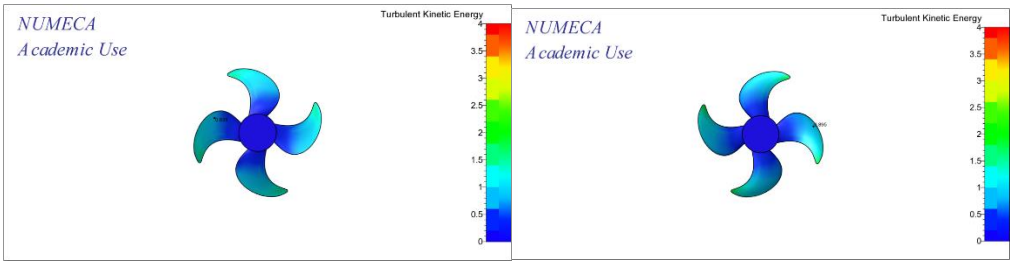
Gambar 74. *TKE Pitch Setting* +1.6 *face* dan *back.*

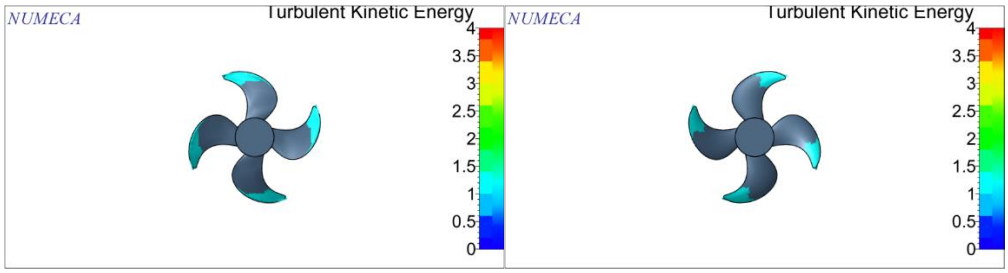


Gambar 75. *TKE Pitch Setting* +1.4 *face* dan *back.*

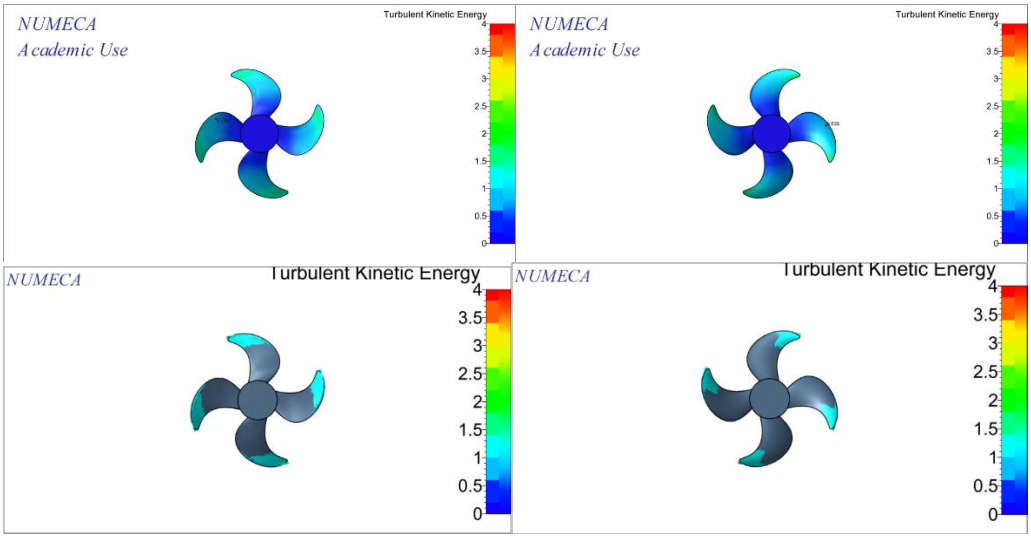


Gambar 76. *TKE Pitch Setting* +1.2 *face* dan *back.*





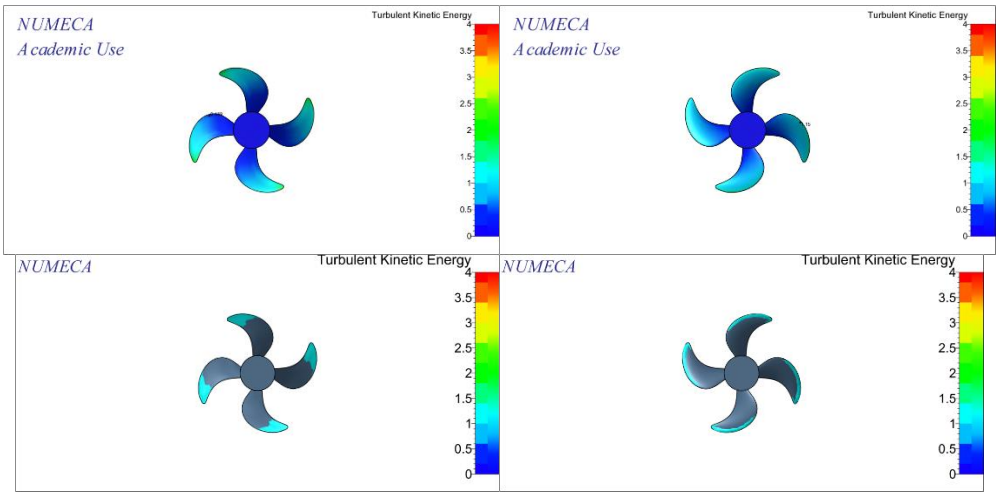
Gambar 77. *TKE Pitch Setting* -1.0 *face* dan *back.*



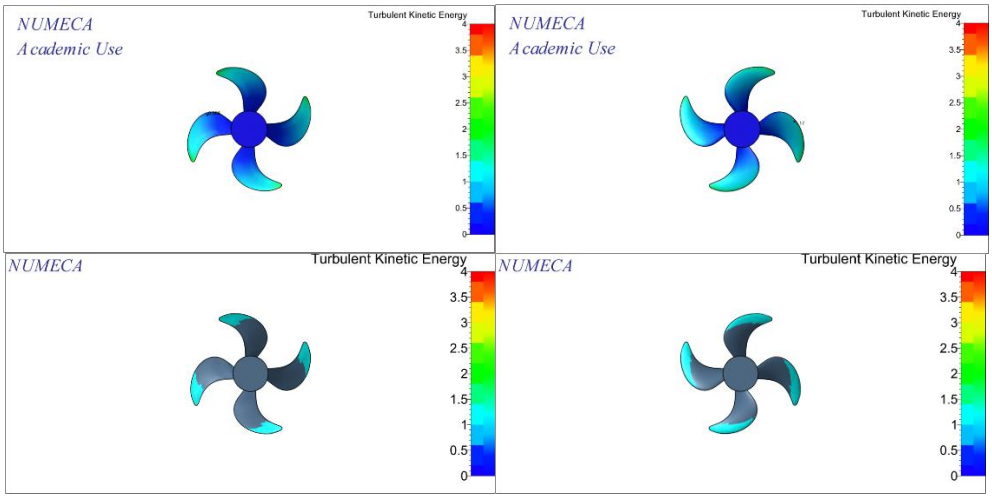
Gambar 78. *TKE Pitch Setting* -1.2 *face* dan *back.*

Dari perbandingan gambar diatas dengan perubahan *Pitch Setting* pada bagian face dengan koordinat x= 0.023 y= 0.077 z= 0.026 yang sama mengalami perubahan *Turbulent Kinetic Energy* semakin besar dengan *Pitch Setting* +1.6 adalah 0.37, *Pitch Setting* +1.4 adalah 0.512, *Pitch Setting* +1.2 adalah 0.603, *Pitch Setting* -1.0 adalah 0.828, dan *Pitch Setting* -1.2 adalah 0.792. Sedangkan pada bagian back dengan koordinat x= 0.015 y= 0.096 z= 0.014 yang sama mengalami perubahan *Turbulent Kinetic Energy* penurunan dengan *Pitch Setting* +1.6 adalah 1.04, *Pitch Setting* +1.4 adalah 1.11, *Pitch Setting* +1.2 adalah 1.13, *Pitch Setting* -1.0 adalah 0.895, dan *Pitch Setting* -1.2 adalah 0.835, atau dapat dilihat dengan iso surface dengan setting pitch +1.6 sampai +1.2 akan semakin membesar, sedangkan untuk setting pitch -1.0 sampai -1.2 akan mengecil, untuk lebih spesifik dapat dilihat pada tabel 12.

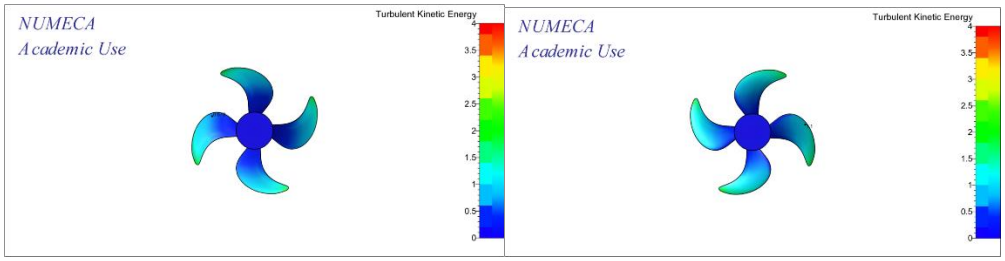
b. Model P/D 1.2.
   Hasil Simulasi dengan *Advance Coefficient* (J) 0.8.

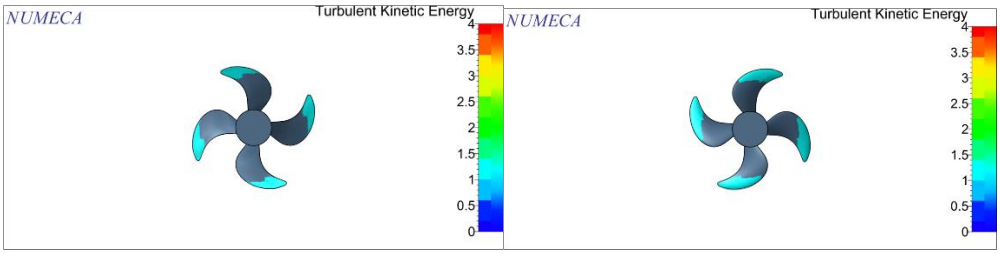


Gambar 79. *TKE Pitch Setting* +1.4 *face* dan *back.*

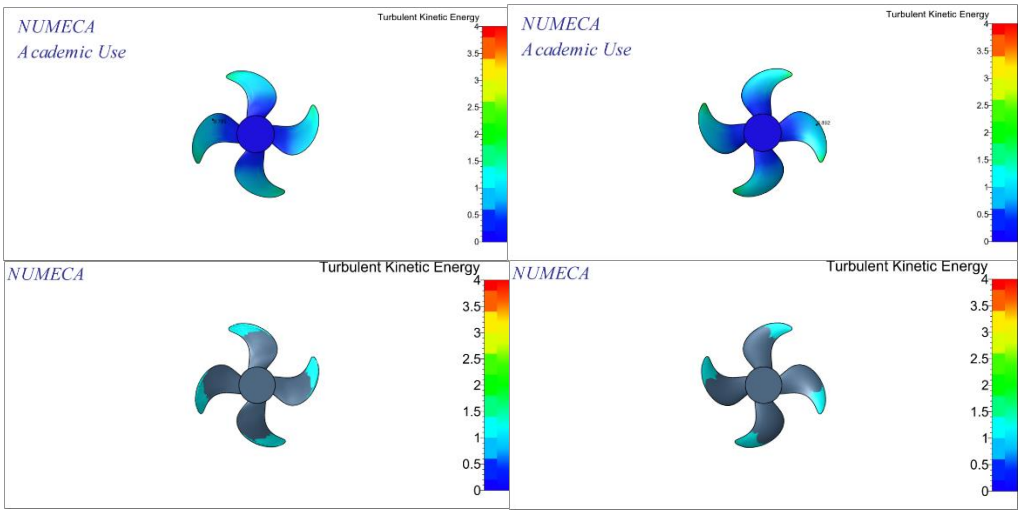


Gambar 80. *TKE Pitch Setting* +1.2 *face* dan *back.*

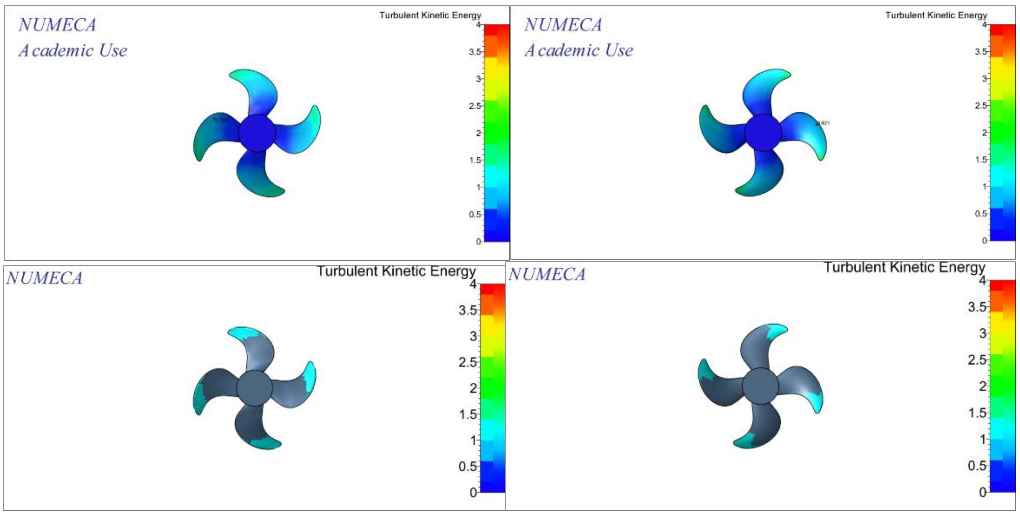




Gambar 81. *TKE Pitch Setting* +1.0 *face* dan *back.*



Gambar 82. *TKE Pitch Setting* -1.0 *face* dan *back.*



Gambar 83. *TKE Pitch Setting* -1.2 *face* dan *back.*

Dari perbandingan gambar diatas dengan perubahan *Pitch Setting* pada bagian face dengan koordinat x= 0.01609 y= 0.09044 z= 0.0198688 yang sama mengalami perubahan

Turbulent Kinetic Energy semakin besar dengan *Pitch Setting* +1.4 adalah 0.601, *Pitch Setting* +1.2 adalah 0722, *Pitch Setting* +1.0 adalah 0.847, *Pitch Setting* -1.0 adalah 0.918, dan *Pitch Setting* -1.2 adalah 0.855. Sedangkan pada bagian back dengan koordinat x= 0.014333 y= 0.095801 z= 0.01599 yang sama mengalami perubahan *Turbulent Kinetic Energy* semakin kecil dengan *Pitch Setting* +1.4 adalah 1.13, *Pitch Setting* +1.2 adalah 1.21, *Pitch Setting* +1.0 adalah 1.08, *Pitch Setting* -1.0 adalah 0.88, dan *Pitch Setting* -1.2 adalah 0.81, atau dapat dilihat dengan iso surface dengan setting pitch +1.4 sampai +1.0 akan semakin membesar, sedangkan untuk setting pitch -1.0 sampai -1.2 akan mengecil, untuk lebih spesifik dapat dilihat pada tabel 12.

Tabel 12. Hasil *Turbulent Kinetic Energy* Variasi *Pitch Setting*.

Hasil Pressure Variasi Pitch Setting pada Model P/D 1.4										
Advance	Face					Back				
Coefficie	+1.6	+1.4	+1.2	-1.0	-1.2	+1.6	+1.4	+1.2	-1.0	-1.2
j=0.6	0.3	0.431	0.519	0.765	0.682	0.94	1.01	1.06	0.819	0.765
j=0.8	0.37	0.512	0.603	0.828	0.792	1.04	1.11	1.13	0.895	0.835
j=1.0	0.48	0.622	0.715	0.851	0.873	1.15	1.19	1.16	0.992	0.925
Hasil Pressure Variasi Pitch Setting pada Model P/D 1.2										
Advance	Face					Back				
Coefficie	+1.4	+1.2	+1.0	-1.0	-1.2	+1.4	+1.2	+1.0	-1.0	-1.2
j=0.6	0.526	0.636	0.743	0.821	0.776	1.07	1.16	1.1	0.809	0.738
j=0.8	0.601	0.722	0.847	0.918	0.855	1.13	1.21	1.08	0.888	0.81
j=1.0	0.712	0.833	0.93	1.01	0.967	1.21	1.17	1.02	0.991	0.91
Hasil Pressure Variasi Pitch Setting pada Model P/D 1.0										
Advance	Face					Back				
Coefficie	+1.2	+1.0	+0.8	-0.8	-1.0	+1.2	+1.0	+0.8	-0.8	-1.0
j=0.6	0.697	0.775	0.871	0.874	0.785	1.37	1.4	1.36	1.06	1.07
j=0.8	0.775	0.877	0.924	0.976	0.883	1.46	1.41	1.28	1.13	1.13
j=1.0	0.911	0.966	0.951	1.05	0.994	1.51	1.36	1.28	1.23	1.2
Hasil Pressure Variasi Pitch Setting pada Model P/D 0.8										
Advance	Face					Back				
Coefficie	+1.0	+0.8	+0.6	-0.8	-1.0	+1.0	+0.8	+0.6	-0.8	-1.0
j=0.4	0.695	0.834	0.931	0.785	0.832	1.31	1.43	1.26	0.94	0.877
j=0.6	0.775	0.937	0.965	0.869	0.801	1.37	1.34	1.18	1.01	0.943
j=0.8	0.895	1.03	0.961	0.982	0.875	1.41	1.24	1.15	1.11	1.02

4.3.3 Hasil *Cavitation*

Dari tinjauan pustaka untuk menghitung *number cavitation* digunakan rumus berikut:

$$\sigma = \frac{p0 - pv}{\frac{1}{2}\ \rho\ v\text{^}2}$$

Dimana po adalah tekanan kedalaman di tambah dengan tekanan atmospheric yaitu :

$$\sigma = \frac{patm + ph - pv}{\frac{1}{2}\ \rho\ v\text{^}2}$$

Dimana :

patm = tekanan atmosfer
ph = tekanan kedalaman propeller
pv = tekanan vapor
ρ = massa jenis air laut
v = kecepatan pada 0.7R

Dengan :

patm = 101325 Pa

ph = ρ g h

ρ = 1025 kg/m^3
g = 9.807 m/s^2
h = 0.729 m

(Ref. ITTC hal.8)
pv = 1670.9 Pa
v (j=1.0) = 8.80854051475044 m/s
v (j=0.8) = 8.53272623491461 m/s
v (j=0.6) = 8.31187884897272 m/s
v (j=0.4) = 8.15046777798673 m/s
(Ref. ASHRAE table A-9)
Vapor density = 0.012849 kg/m3
Vapor Viscos = 0.0000095921 Pa s

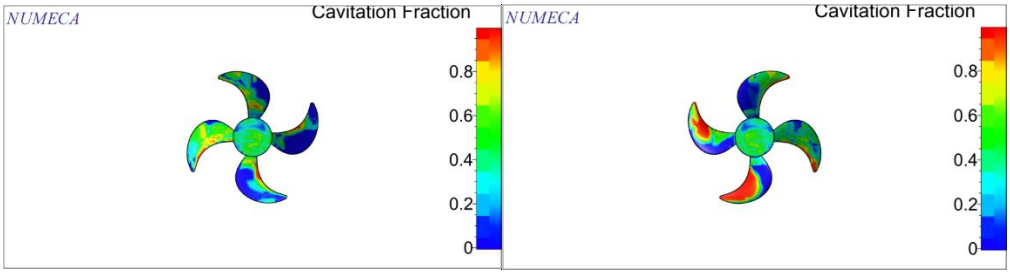
Dari persamaan di atas didapatkan nilai *number cavitation* pada tabel 4.8 sebagai berikut:

Tabel 13. *Cavitation Parameter*

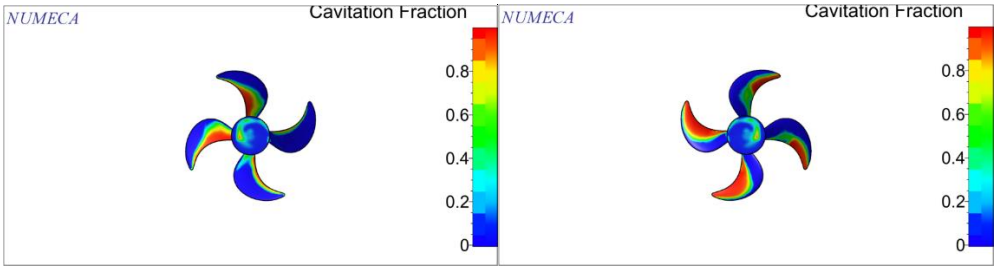
j	Number Cavitation (σ)
0.4	3.142334
0.6	3.021475
0.8	2.867093
1	2.690354

Pada pengujian ini dilakukan dengan kavitasi diaktifkan pada *additional models* sehingga dapat dilihat *cavitation fraction*, pada CFview Cavitaion fraction pada keadaan 0 adalah kondisi liquid sedangkan ppada kondisi 1 adalah gas, untuk lebih jelasnya dapat dilihat sebagai berikut:

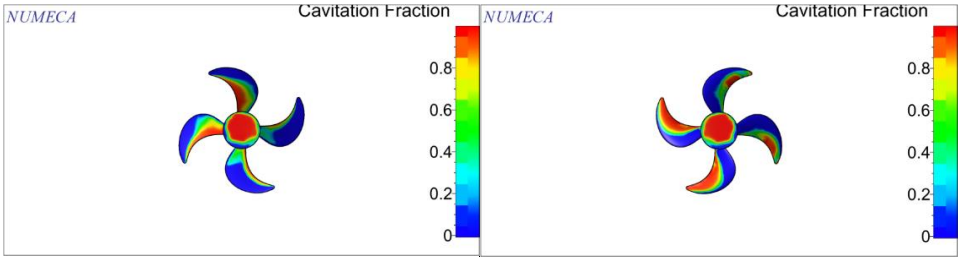
1. Hasil Simulasi dengan Perubahan *Advance Coefficient* (J)
   a. Model P/D 1.4.
      Hasil Simulasi dengan *Pitch Setting* +1.6.



Gambar 84. *Cavitation J =0.6 face* dan *back.*



Gambar 85. *Cavitation J =0.8 face* dan *back.*

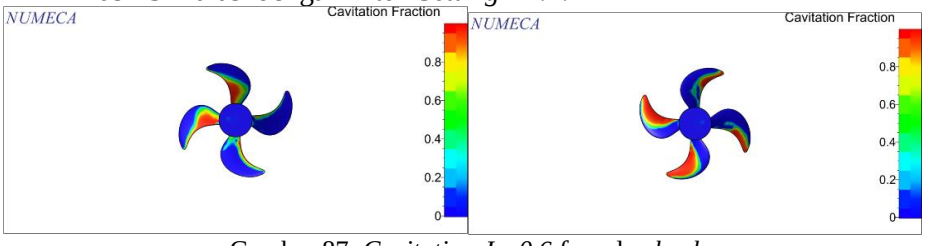


Gambar 86. *Cavitation J =1.0 face* dan *back.*

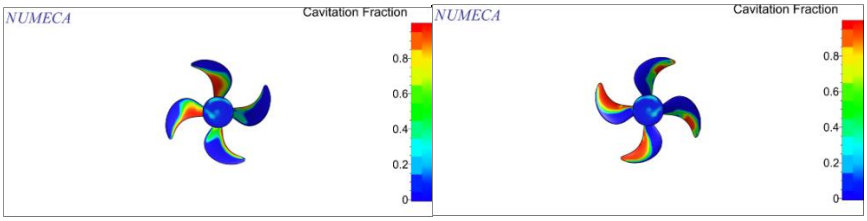
Dari konsepnya kavitasi akan terjadi apabila tekanan kurang dari tekanan vapor, dapat dilihat pada hasil simulasi bagian face tekanan akan mengecil dengan j=0.6 sampai j=1.0 dan bagian back sebaliknya. sedangkan dari gambar diatas indikasi *Cavitation* dapat dilihat dengan Contour warna yang terjadi pada bagian face akan semakin bertambah dengan j=0.6 sampai j=1.0 dan bagian back semakin bertambah, dari simulasi tersebut dapat dikatakan bagian face sesuai konsep dasar namun bagian tidak sesuai, dapat dilihat pada gambar 84., gambar 85. dan gambar 86, untuk lebih spesifik dapat dilihat pada lampiran gambar.

b. Model P/D 1.2.

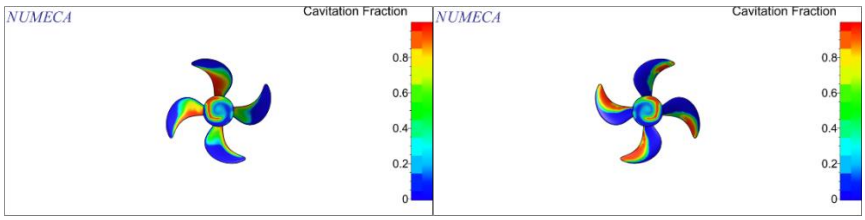
Hasil Simulasi dengan *Pitch Setting* +1.4.



Gambar 87. *Cavitation J =0.6 face* dan *back.*



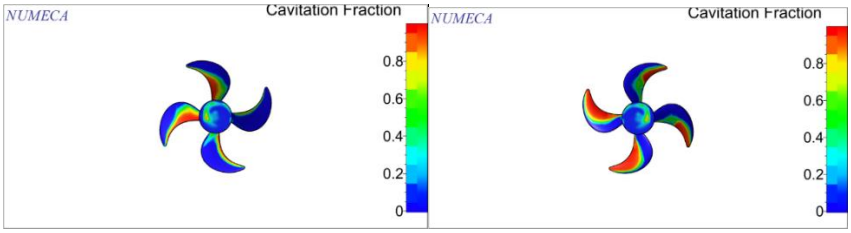
Gambar 88. *Cavitation J =0.8 face* dan *back.*



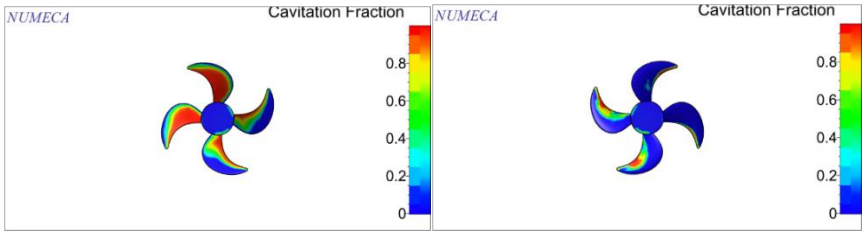
Gambar 89. *Cavitation J =1.0 face* dan *back.*

Dari konsepnya kavitasi akan terjadi apabila tekanan kurang dari tekanan vapor, dapat dilihat pada hasil simulasi bagian face tekanan akan mengecil dengan j=0.6 sampai j=1.0 dan bagian back sebaliknya. sedangkan dari gambar diatas indikasi Cavitation dapat dilihat dengan Contour warna yang terjadi pada bagian face akan semakin bertambah dengan j=0.6 sampai j=1.0 dan bagian back semakin berkurang, dari simulasi tersebut dapat dikatakan bagian face dan back sesuai konsep dasarnya, dapat dilihat pada gambar 87, gambar 88 dan gambar 89 untuk lebih spesifik dapat dilihat pada lampiran gambar.

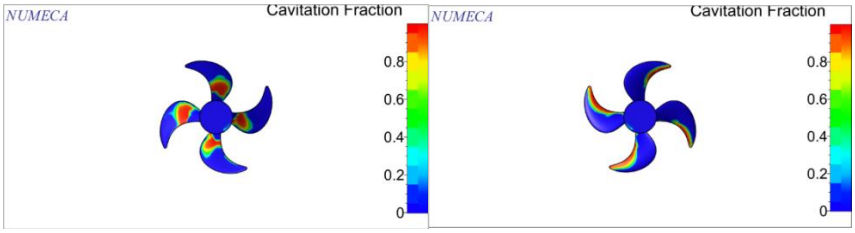
2. Hasil Simulasi dengan Perubahan *Pitch Setting.*
   a. Model P/D 1.4.
      Hasil Simulasi dengan *Advance Coefficient* (J) 0.8.



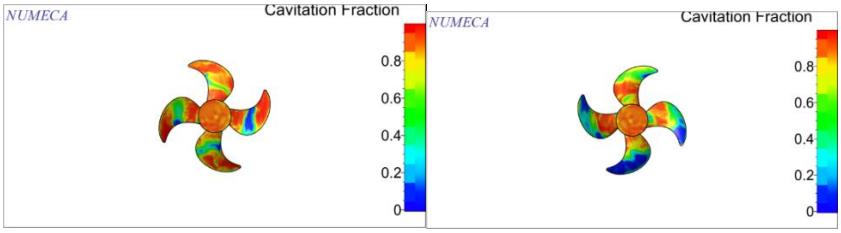
Gambar 90. *Cavitation Pitch Setting* +1.6 *face* dan *back.*



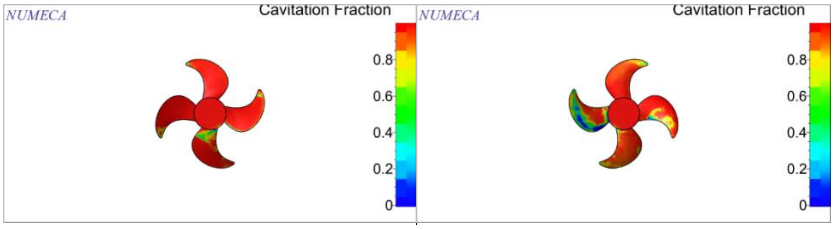
Gambar 91. *Cavitation Pitch Setting* +1.4 *face* dan *back.*



Gambar 92. *Cavitation Pitch Setting* +1.2 *face* dan *back.*



Gambar 93. *Cavitation Pitch Setting* -1.0 *face* dan *back.*

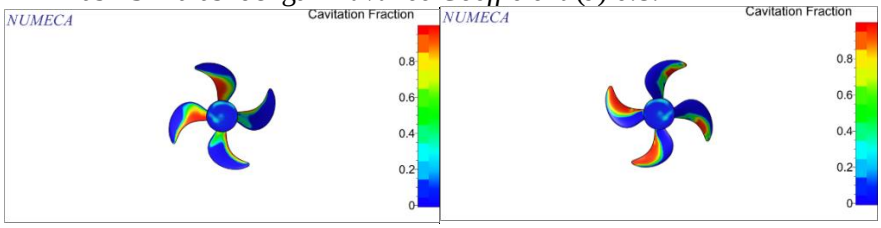


Gambar 94. *Cavitation Pitch Setting* -1.2 *face* dan *back.*

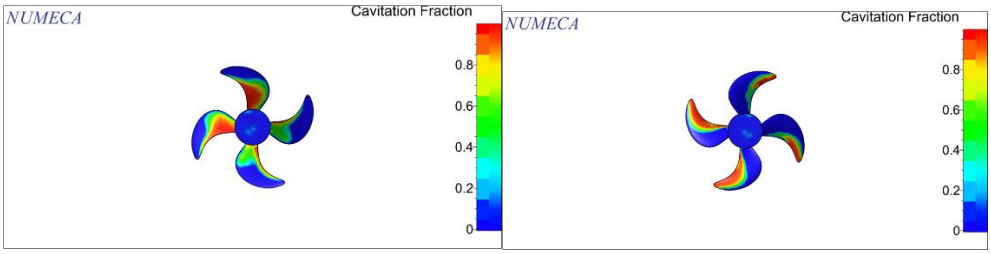
Dari konsepnya kavitasi akan terjadi apabila tekanan kurang dari tekanan vapor, dapat dilihat pada hasil simulasi bagian face tekanan akan mengecil dengan Pitch setting +1.6 sampai +1.2 dan bagian back sebaliknya. Sedangkan dari gambar diatas indikasi Cavitation dapat dilihat dengan Contour warna yang terjadi pada bagian face terbesar pada bagian pitch setting +1.4 dan bagian back akan semakin menurun dengan pitch setting +1.6 sampai +1.2, dari simulasi tersebut dapat dikatakan bagian face tidak sesuai konsep dasar namun bagian back sesuai, pada face pitch setting -1.0 sampai -1.2 bertambah sesuai konsep dan back bertambah tidak sesuai konsep, dapat dilihat pada gambar 90, gambar 91, gambar 92, gambar 93 dan gambar 94, untuk lebih spesifik dapat dilihat pada gambar lampiran.

b. Model P/D 1.2.

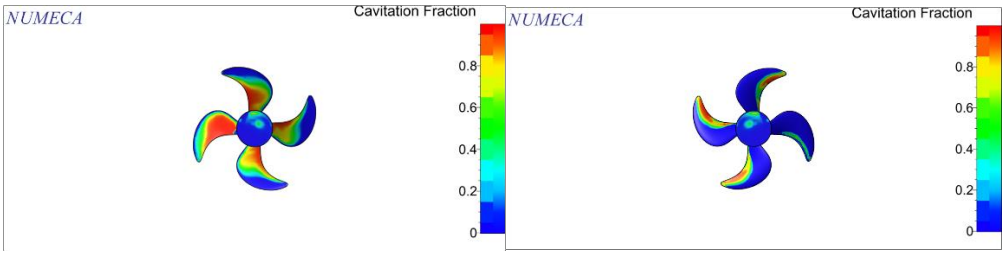
Hasil Simulasi dengan *Advance Coefficient* (J) 0.8.



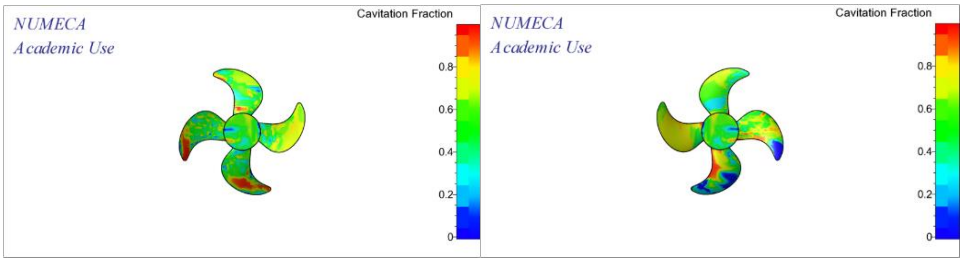
Gambar 95. *Cavitation Pitch Setting* +1.4 *face* dan *back.*



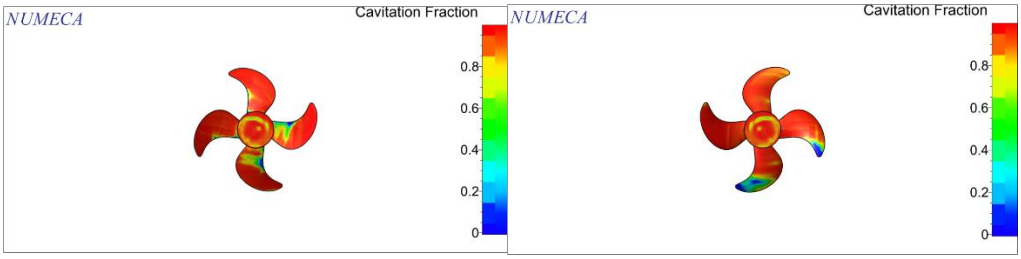
Gambar 96. *Cavitation Pitch Setting* +1.2 *face* dan *back.*



Gambar 97. *Cavitation Pitch Setting* +1.0 *face* dan *back.*



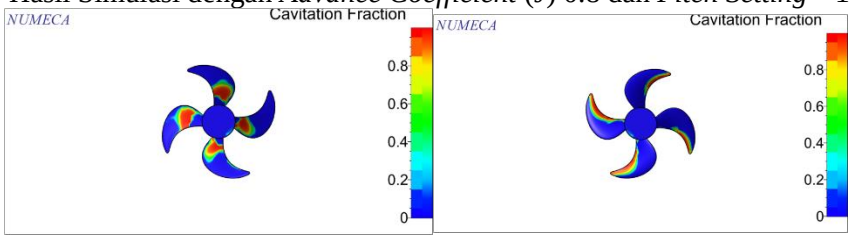
Gambar 98. *Cavitation Pitch Setting* -1.0 *face* dan *back.*



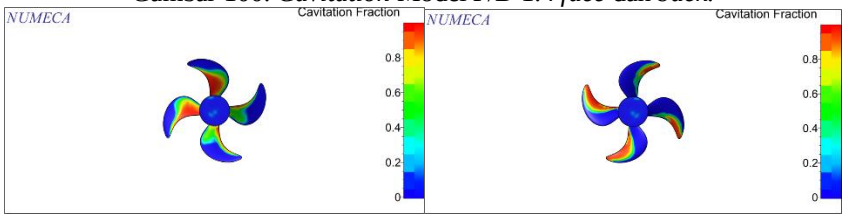
Gambar 99. *Cavitation Pitch Setting* -1.2 *face* dan *back.*

Dari konsepnya kavitasi akan terjadi apabila tekanan kurang dari tekanan vapor, dapat dilihat pada hasil simulasi bagian face tekanan akan mengecil dengan Pitch setting +1.4 sampai +1.0 dan bagian back sebaliknya. Sedangkan dari gambar diatas indikasi Cavitation dapat dilihat dengan Contour warna yang terjadi pada bagian face akan semakin bertambah dengan pitch +1.4 sampai Pitch +1.0 dan back sebaliknya. Dapat dikatakan bagian face dan back sesuai konsep, pada face pitch setting -1.0 sampai -1.2 bertambah sesuai konsep dan back bertambah tidak sesuai konsep, dapat dilihat pada gambar 95, gambar 96, gambar 97, gambar 98 dan gambar 99, untuk lebih spesifik dapat dilihat pada gambar lampiran.

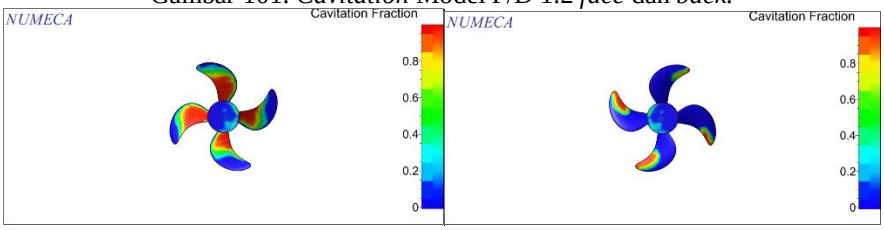
3. Hasil Simulasi dengan perbedaan Model
   Hasil Simulasi dengan *Advance Coefficient* (J) 0.8 dan *Pitch Setting* +1.2.



Gambar 100. *Cavitation* Model P/D 1.4 *face* dan *back.*



Gambar 101. *Cavitation* Model P/D 1.2 *face* dan *back.*



Gambar 102. *Cavitation* Model P/D 1.0 *face* dan *back.*

Dari perbandingan gambar diatas dengan perubahan model untuk *Cavitation* yang terjadi pada bagian face yang paling sedikit pada model P/D 1.4 sedangkan terbanyak pada model P/D 1.0 dan untuk bagian back paling sedikit pada model P/D 1.4 sedangkan terbanyak pada model P/D 1.2, dapat dilihat pada gambar 100, gambar 101, gambar 102, untuk lebih spesifik dapat dilihat pada gambar lampiran.

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisa data dan pembahasan yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya, maka pada bab kali ini dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada Model P/D 1.4
   a. Dengan perubahan *Advance Coefficient* (J), *Cavitation* akan semakin membesar dengan j=0.6 sampai j=1.0.
   b. Dengan perubahan *Pitch Setting*, *cavitation* akan semakin mengecil dengan pitch +1.6 sampai Pitch +1.2 sedangkan pitch -1.0 sampai Pitch -1.2 akan semakin membesar.
2. Pada Model P/D 1.2
   a. Dengan perubahan *Advance Coefficient* (J), *Cavitation* akan semakin membesar dengan j=0.6 sampai j=1.0.
   b. Dengan perubahan *Pitch Setting*, *cavitation* akan semakin mengecil dengan pitch +1.4 sampai Pitch +1.0 sedangkan pitch -1.0 sampai Pitch -1.2 akan semakin membesar.
3. Pada Model P/D 1.0
   a. Dengan perubahan *Advance Coefficient* (J), *Cavitation* akan semakin membesar dengan j=0.6 sampai j=1.0.
   b. Dengan perubahan *Pitch Setting*, *cavitation* akan semakin mengecil dengan pitch +1.2 sampai Pitch +0.8 sedangkan pitch -0.8 sampai Pitch -1.0 akan semakin membesar.
4. Pada Model P/D 0.8
   a. Dengan perubahan *Advance Coefficient* (J), *Cavitation* akan semakin membesar dengan j=0.6 sampai j=1.0.
   b. Dengan perubahan *Pitch Setting*, *cavitation* akan semakin mengecil dengan pitch +1.0 sampai Pitch +0.6 sedangkan pitch -0.8 sampai Pitch -1.0 akan semakin membesar.

Dari masing-masing model dapat disimpulkan dengan merubah *Pitch Setting*, *cavitation* akan semakin mengecil jika pitch semakin kecil. Dan untuk beberapa model *Cavitation* bagian face yang paling sedikit pada model P/D 1.4 sedangkan terbanyak pada model P/D 1.0 dan untuk bagian back paling sedikit pada model P/D 1.4 sedangkan terbanyak pada model P/D 1.2.

5.2 Saran

Dalam batasan yang ada pada studi kali ini dan pembahasan serta analisa yang telah dilakukan, beberapa saran yang dapat disampaikan oleh penulis antara lain :

1. Perlu dilakukan studi lanjut mengenai *experiment* series C4-40 agar dapat di bandingkan dengan simulasi.
2. Perlu dilakukan modifikasi pada model P/D 1.0 bagian face dan model P/D 1.2 bagian back agar kavitasi pada model tersebut berkurang.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

Abidin, Muh. Zainal. 2012. *Analisa Performance Propeller B-Series dengan Pendekatan Structure dan Unstructure Meshing*. Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, ITS: Surabaya.

Carlton, John. 2007. " Marine Propeller and Propulsion ". Oxford University: Elsevier.

CL Merkle and DV Li. Sankaran, Multi-Disciplinary Computational Analysis in Propulsion. AIAA-2006-4374, 42nd AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference, Sacramento. USA, 2006.

Dang j, Brouwer j, Bosman R, Pouw C. 2012. *Quasi-Steady Two-Quadrant Open Water Tests for the Wageningen Propeller C- and D-Series.* The Maritime Research Institute Netherlands : Netherlands

Hanimann, Lucian. 2016. *Steady-state cavitation modeling in an open source framework: Theory and applied cases.* International Symposium on Transport Phenomena and Dynamics of Rotating Machinery: Hawaii.

Hermowo, Paulus agung. 2008. *Tinjaun Yuridis Tanggung Jawab Nahkoda Dalam Pengangkutan Barang*. Universitas Indonesia : Jakarta.

J. J. van den Boom H, Dang j, Th. Ligtelijn j. *The Wageningen C- and D-Series Propellers.* The Maritime Research Institute Netherlands : Netherlands

Robert F Kunz, David A Boger, David R Stinebring, Thomas S Chyczewski, Jules W Lindau, Howard J Gibeling, Sankaran Venkateswaran, and TR Govindan. A preconditioned Navier–Stokes method for two-phase flows with application to cavitation prediction. Computers & Fluids, 29(8):849–875, 2000.

Triasniawa, Tutug, . *STUDI PERANCANGAN PERANGKAT LUNAK UNTUK ANALISA IDENTIFIKASI KAVITASI PADA PROPELER.* Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, ITS: Surabaya.

Weixing Yuan, Jürgen Sauer, and Günter H Schnerr. Modeling and computation of unsteady cavitation flows in injection nozzles. Mécanique & industries, 2(5):383–394, 2001.

Philip J Zwart, Andrew G Gerber, and Thabet Belamri. A two-phase flow model for predicting cavitation dynamics. In Proceedings of the fifth international conference on multiphase flow, Yokohama, Japan, 2004.

Halaman ini sengaja dikosongkan

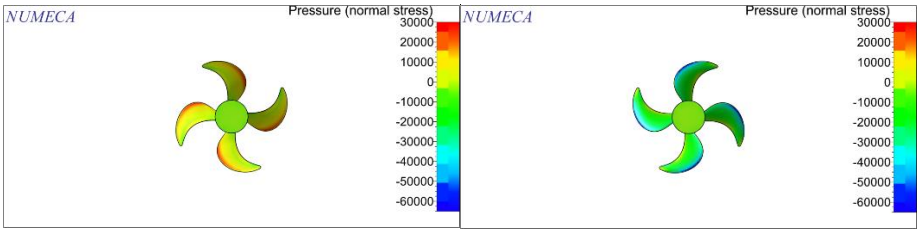
LAMPIRAN

Model P/D 1.4

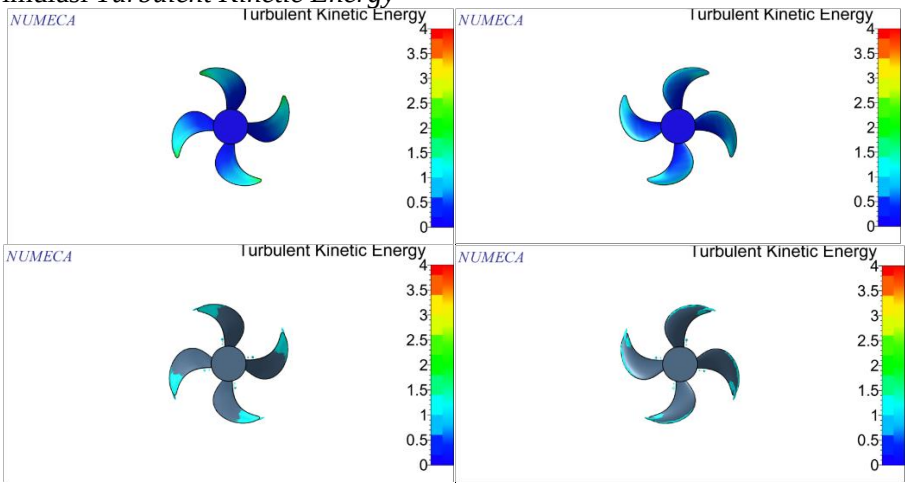
Hasil 1.4 Pitch Setting +1.6

Pada J=0.6

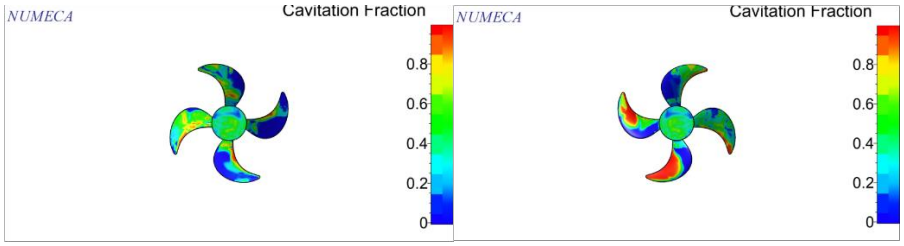
Hasil Simulasi *Pressure*



Hasil Simulasi *Turbulent Kinetic Energy*

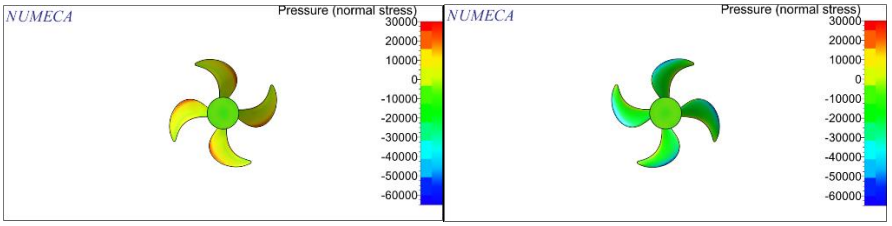


Hasil Simulasi *Cavitation*

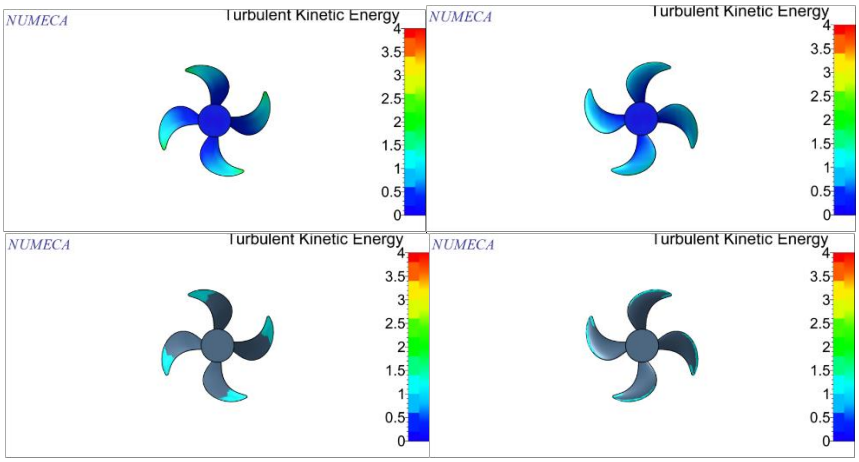


Pada J=0.8

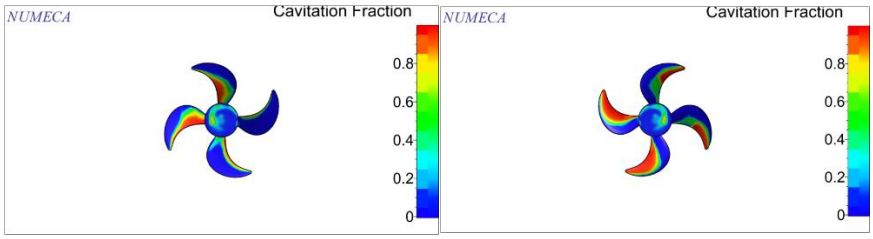
Hasil Simulasi *Pressure*



Hasil Simulasi *Turbulent Kinetic Energy*

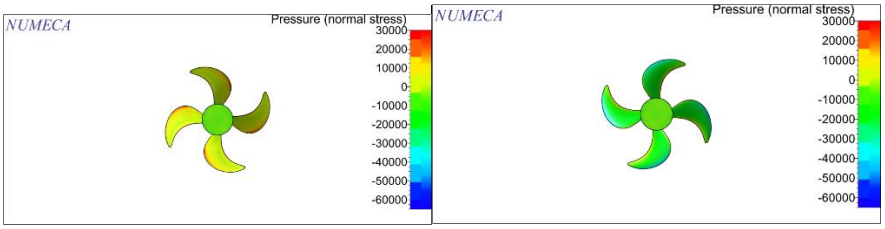


Hasil Simulasi *Cavitation*

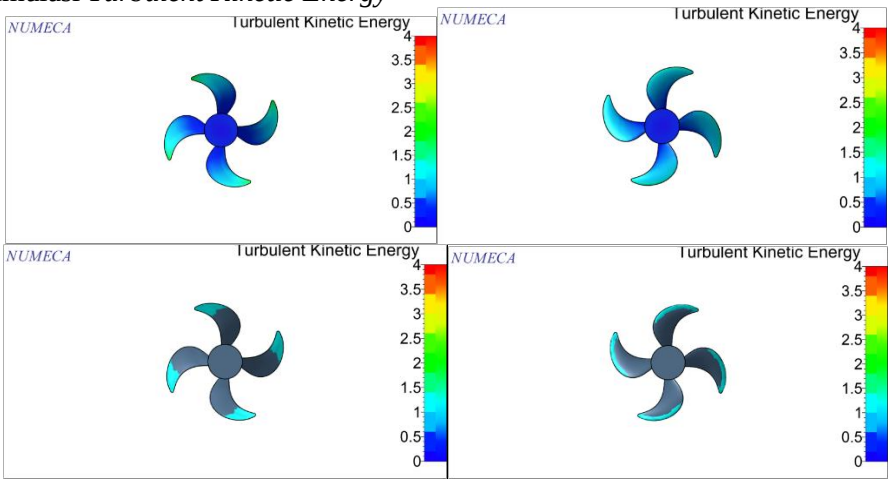


Pada J=1.0

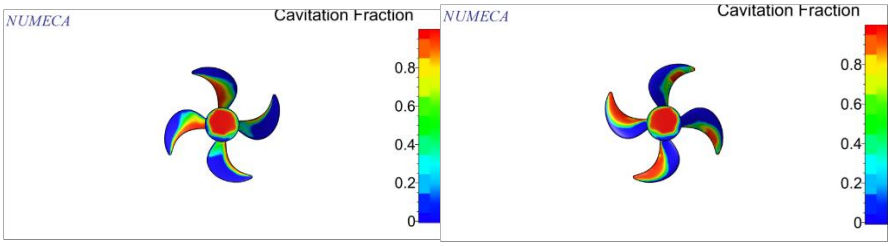
Hasil Simulasi *Pressure*



Hasil Simulasi *Turbulent Kinetic Energy*



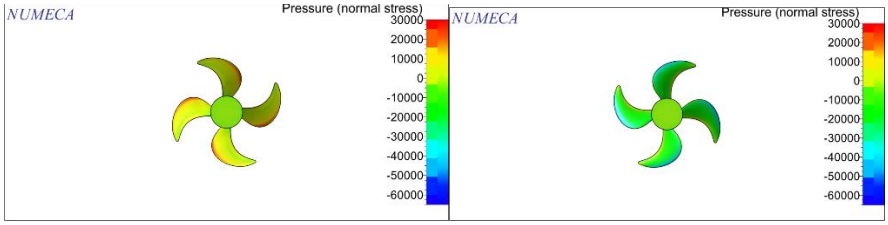
Hasil Simulasi *Cavitation*



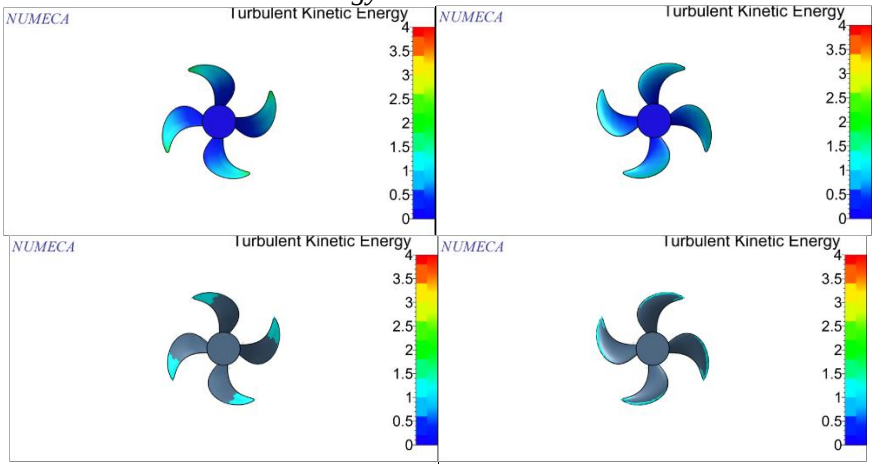
Hasil 1.4 Pitch Setting +1.4

Pada J=0.6

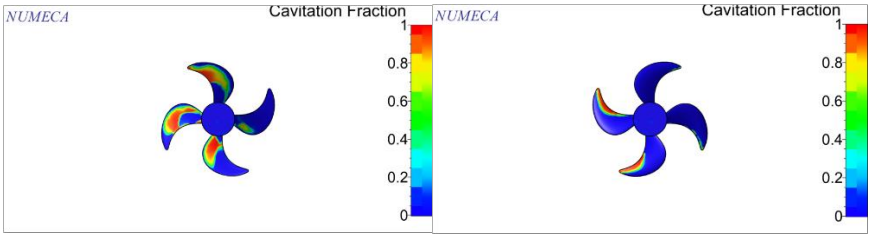
Hasil Simulasi *Pressure*



Hasil Simulasi *Turbulent Kinetic Energy*

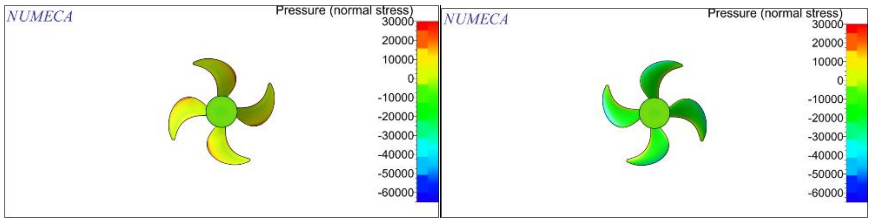


Hasil Simulasi *Cavitation*

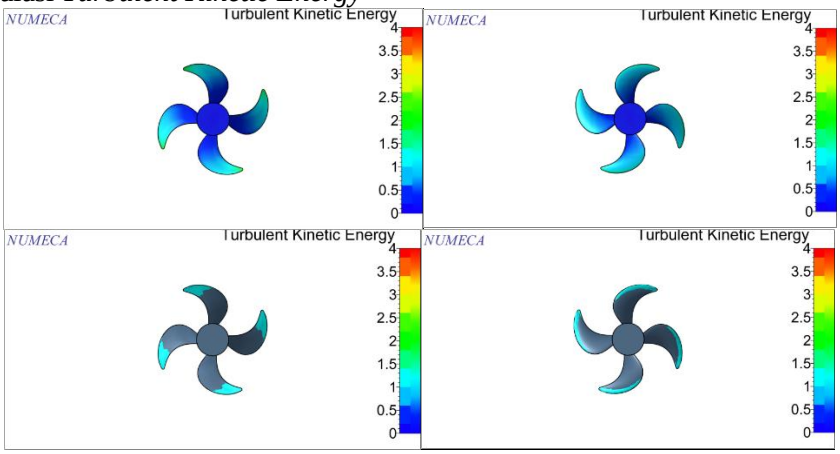


Pada J=0.8

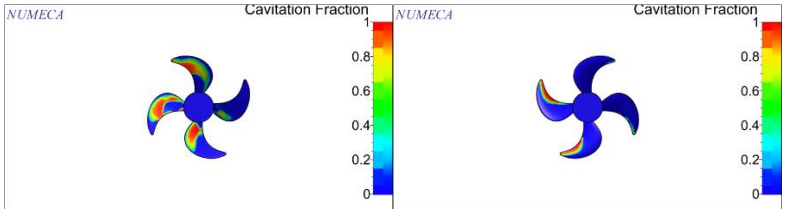
Hasil Simulasi *Pressure*



Hasil Simulasi *Turbulent Kinetic Energy*

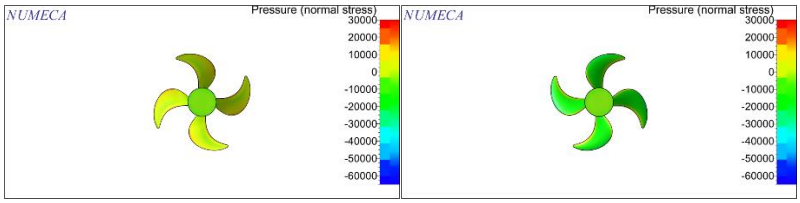


Hasil Simulasi *Cavitation*

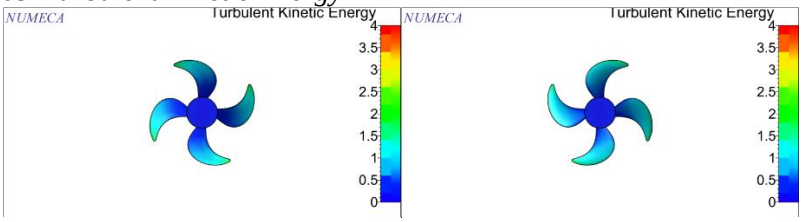


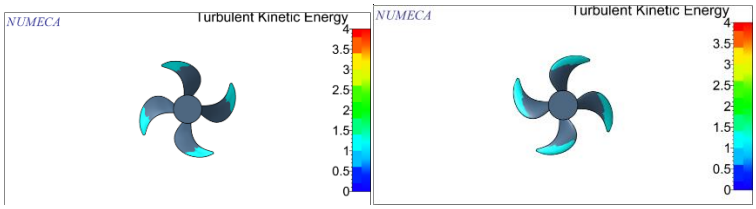
Pada J=1.0

Hasil Simulasi *Pressure*

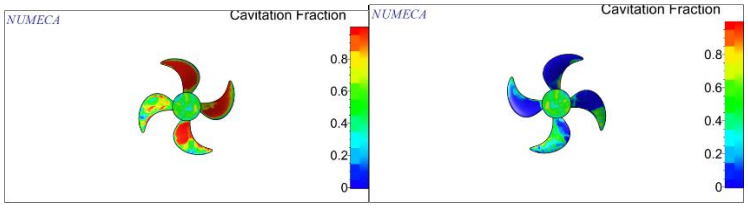


Hasil Simulasi *Turbulent Kinetic Energy*





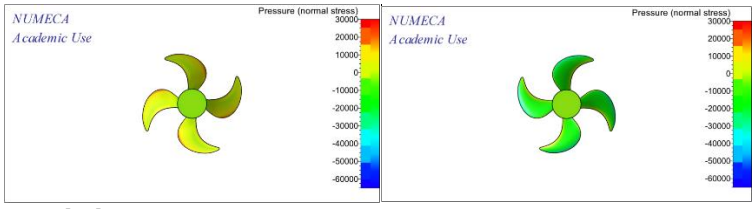
Hasil Simulasi *Cavitation*



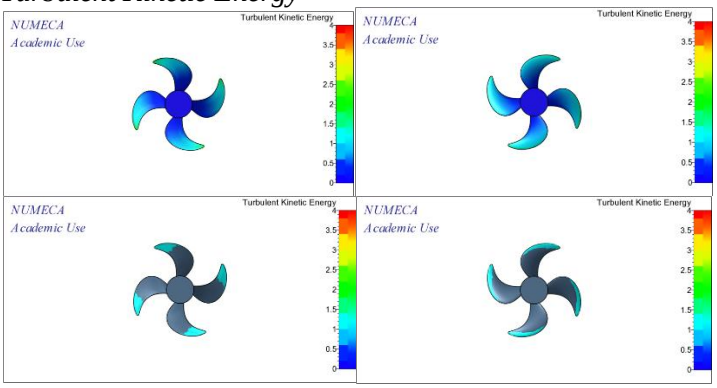
Hasil 1.4 Pitch Setting +1.2

Pada J=0.6

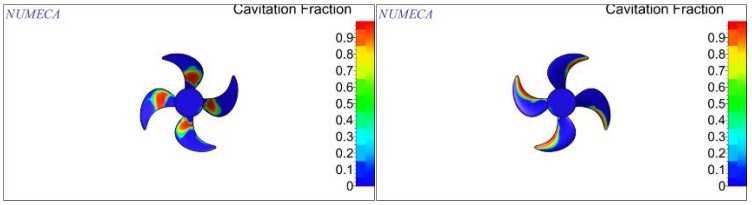
Hasil Simulasi *Pressure*



Hasil Simulasi *Turbulent Kinetic Energy*

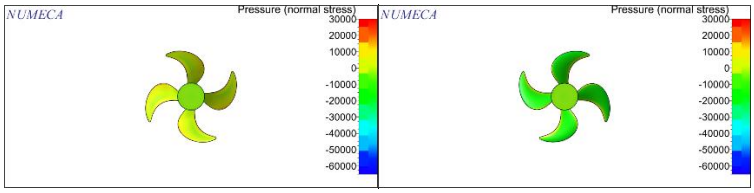


Hasil Simulasi *Cavitation*

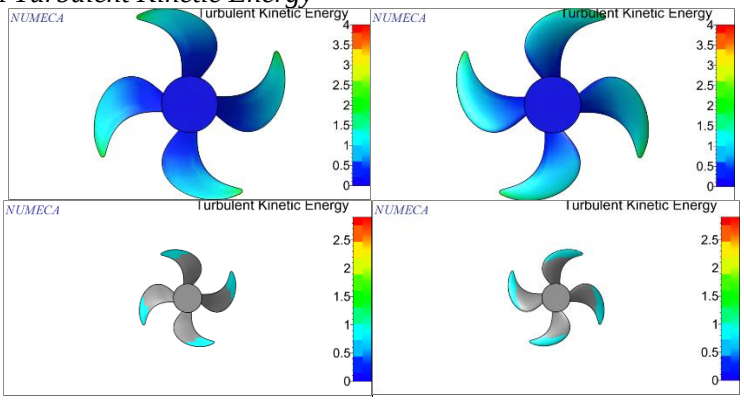


Pada J=0.8

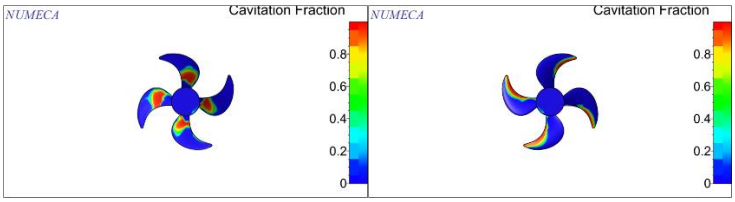
Hasil Simulasi *Pressure*



Hasil Simulasi *Turbulent Kinetic Energy*

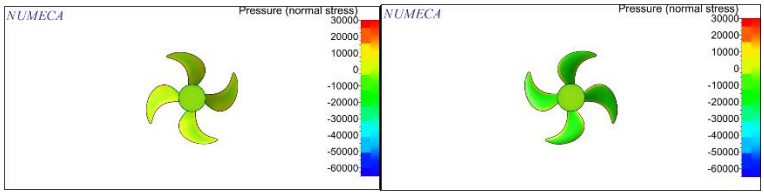


Hasil Simulasi *Cavitation*

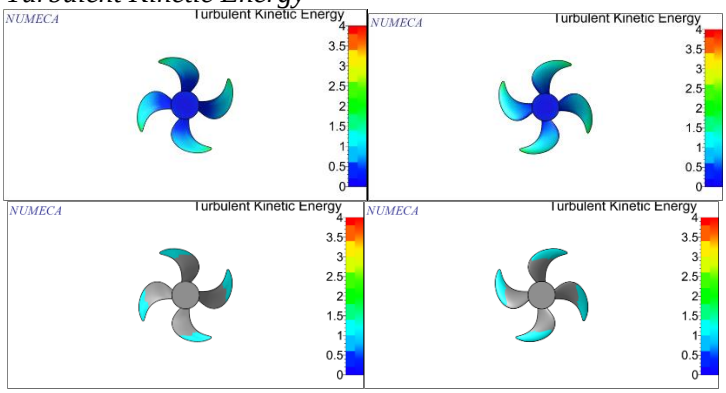


Pada J=1.0

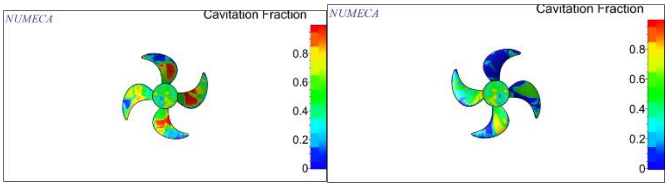
Hasil Simulasi *Pressure*



Hasil Simulasi *Turbulent Kinetic Energy*



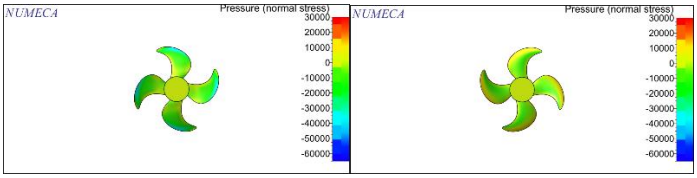
Hasil Simulasi *Cavitation*



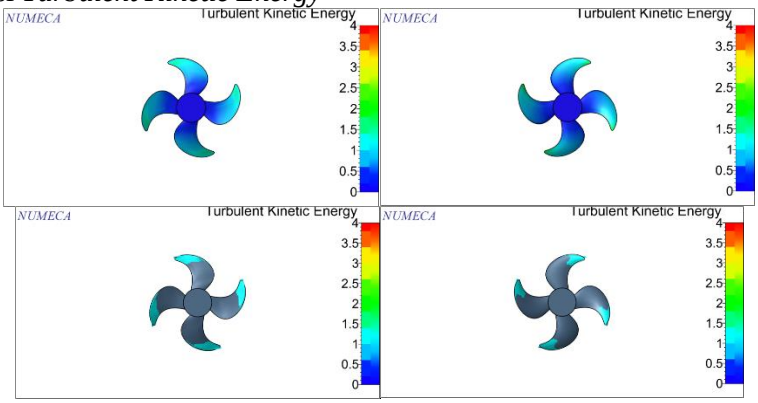
Hasil 1.4 Pitch Setting -1.0

Pada J=0.6

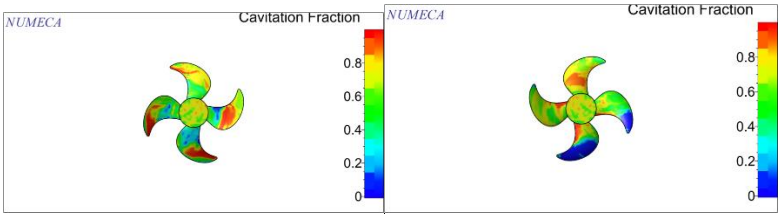
Hasil Simulasi *Pressure*



Hasil Simulasi *Turbulent Kinetic Energy*

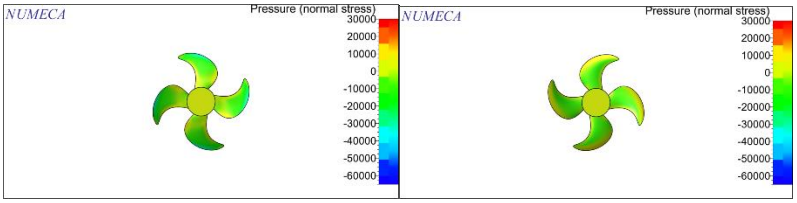


Hasil Simulasi *Cavitation*

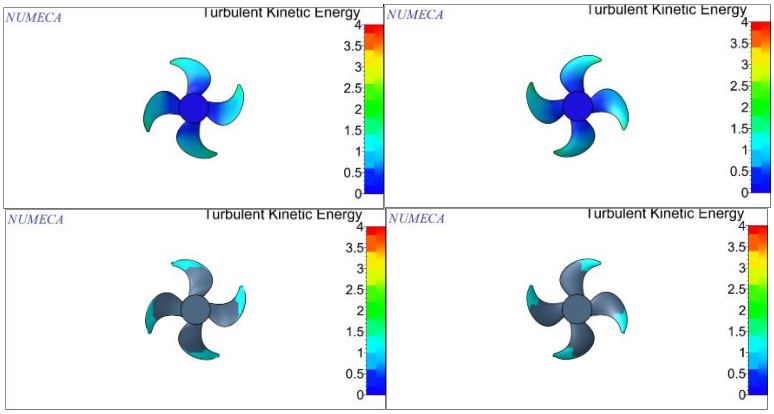


Pada J=0.8

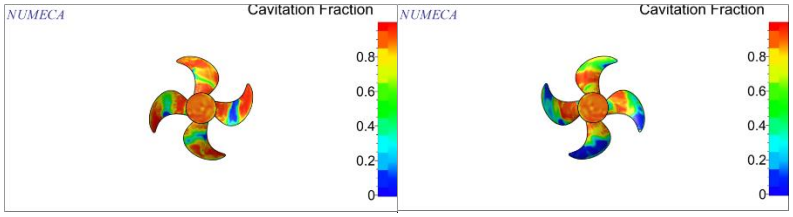
Hasil Simulasi *Pressure*



Hasil Simulasi *Turbulent Kinetic Energy*

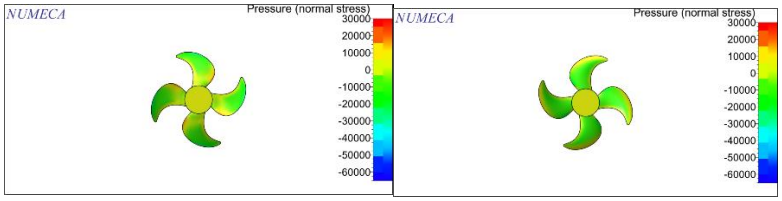


Hasil Simulasi *Cavitation*

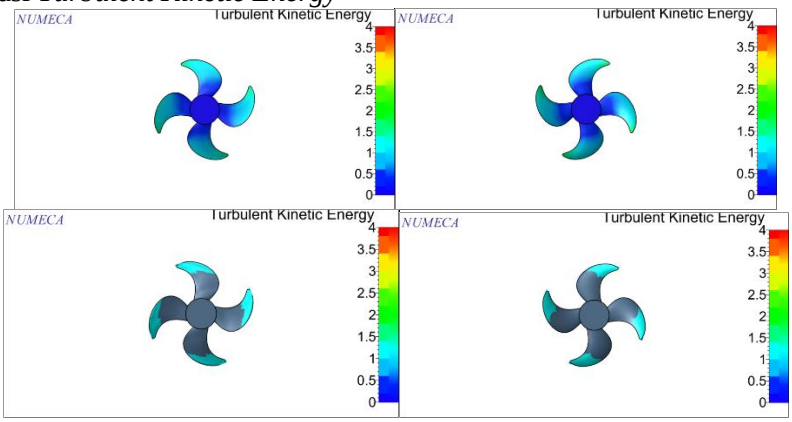


Pada J=1.0

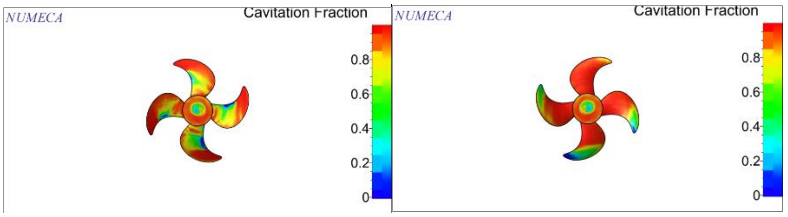
Hasil Simulasi *Pressure*



Hasil Simulasi *Turbulent Kinetic Energy*



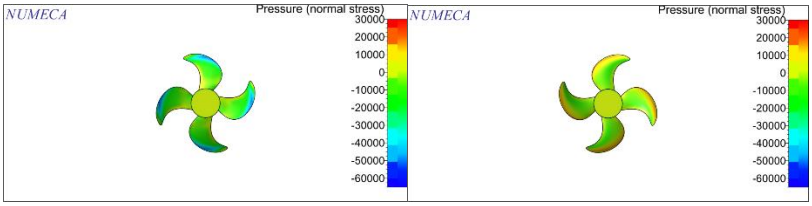
Hasil Simulasi *Cavitation*



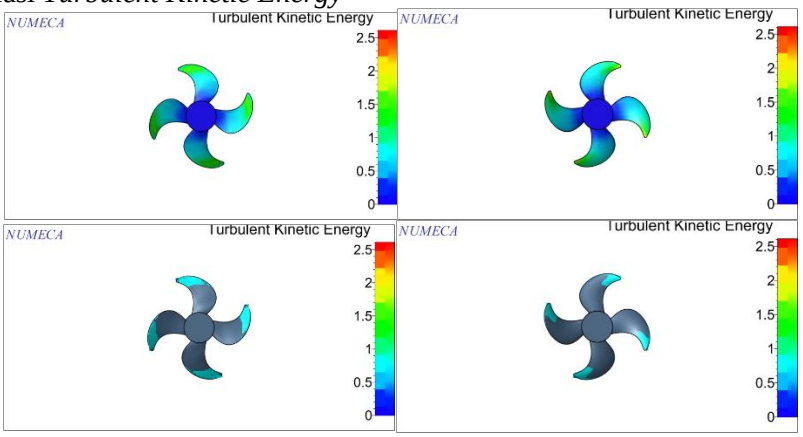
Hasil 1.4 Pitch Setting -1.2

Pada J=0.6

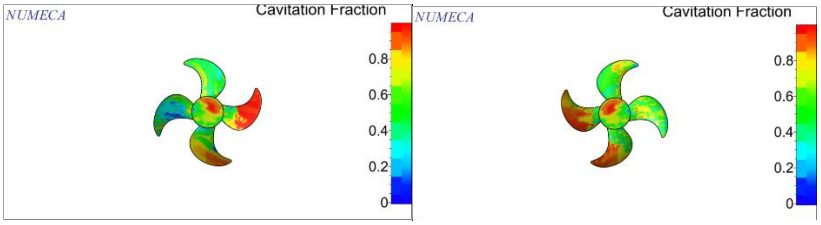
Hasil Simulasi *Pressure*



Hasil Simulasi *Turbulent Kinetic Energy*

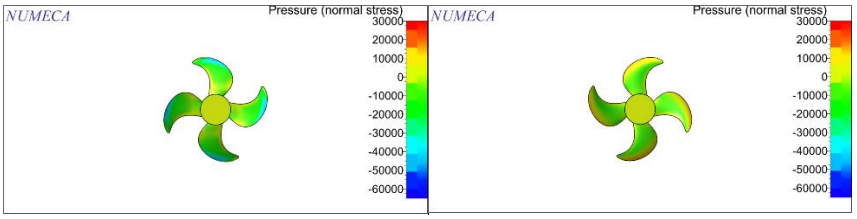


Hasil Simulasi *Cavitation*

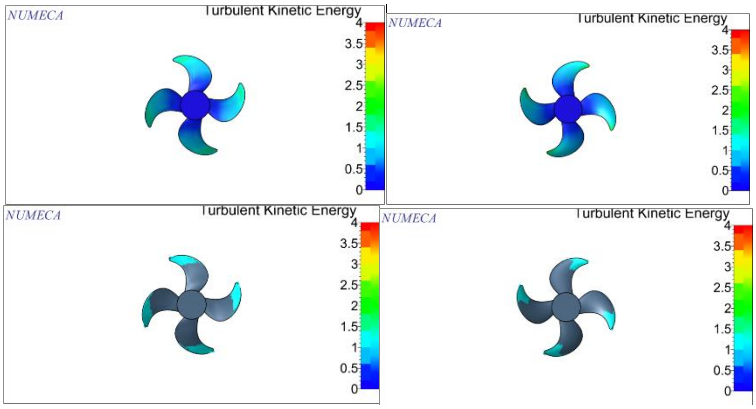


Pada J=0.8

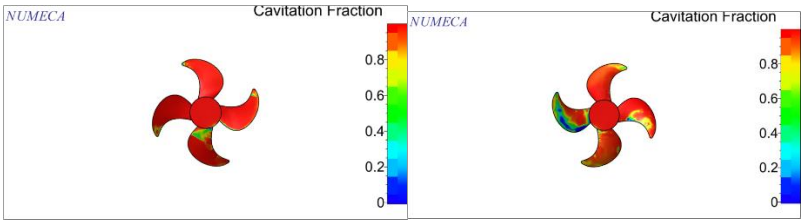
Hasil Simulasi *Pressure*



Hasil Simulasi *Turbulent Kinetic Energy*

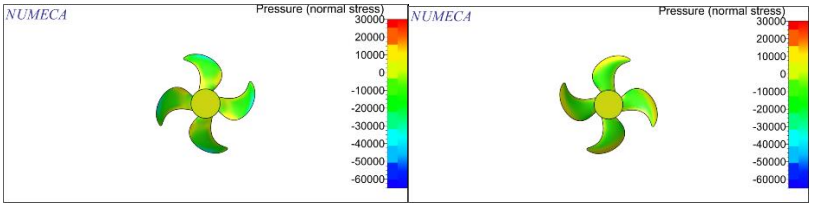


Hasil Simulasi *Cavitation*

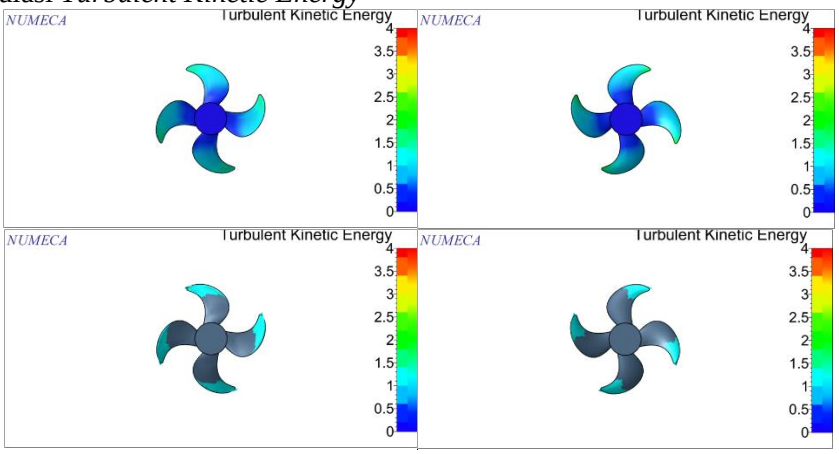


Pada J=1.0

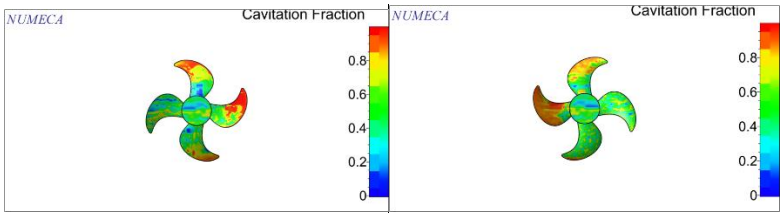
Hasil Simulasi *Pressure*



Hasil Simulasi *Turbulent Kinetic Energy*



Hasil Simulasi *Cavitation*

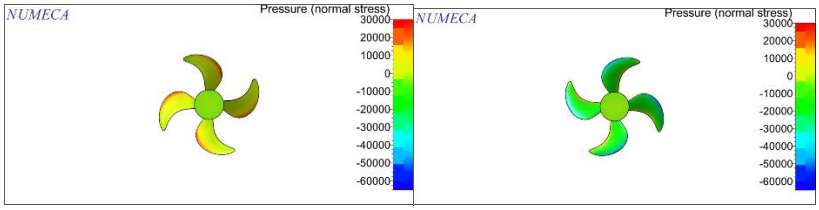


Model P/D 1.2

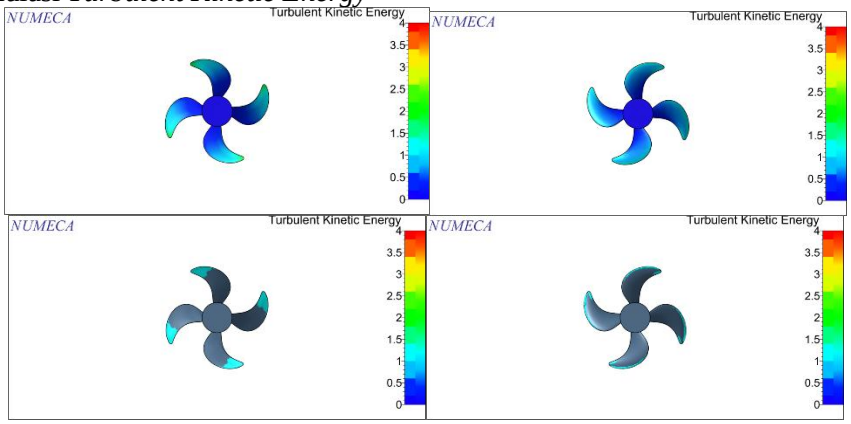
Hasil 1.2 Pitch Setting +1.4

Pada J=0.6

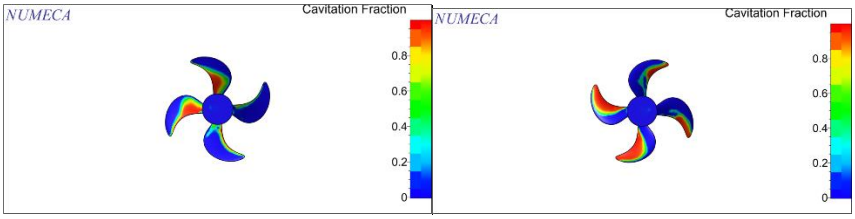
Hasil Simulasi *Pressure*



Hasil Simulasi *Turbulent Kinetic Energy*

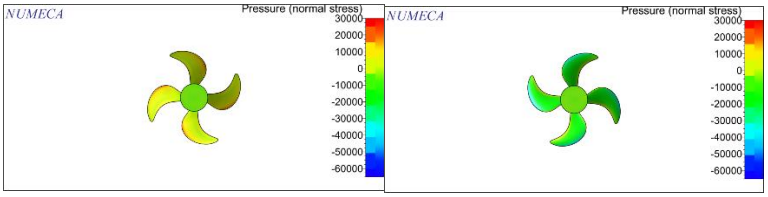


Hasil Simulasi *Cavitation*

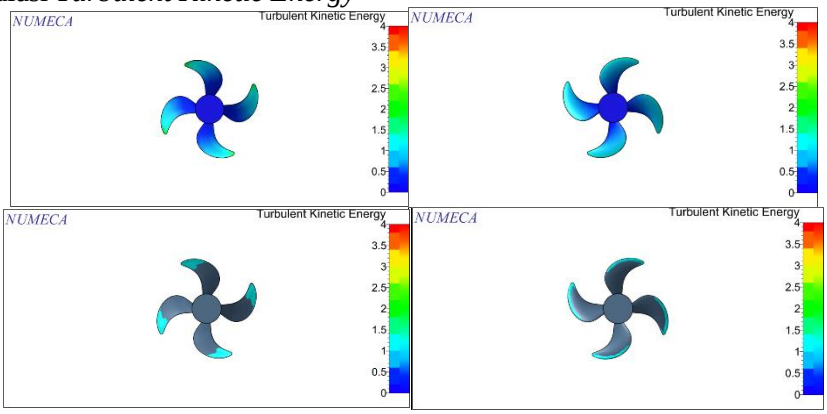


Pada J=0.8

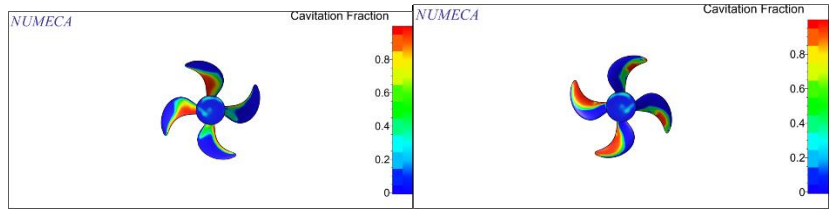
Hasil Simulasi *Pressure*



Hasil Simulasi *Turbulent Kinetic Energy*

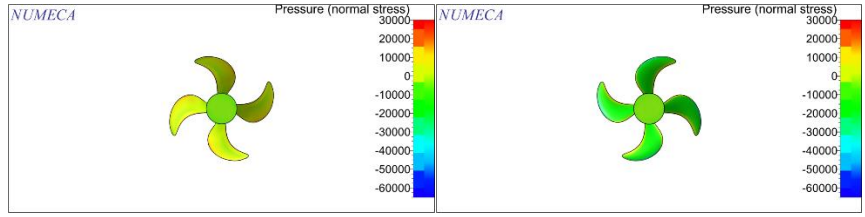


Hasil Simulasi *Cavitation*

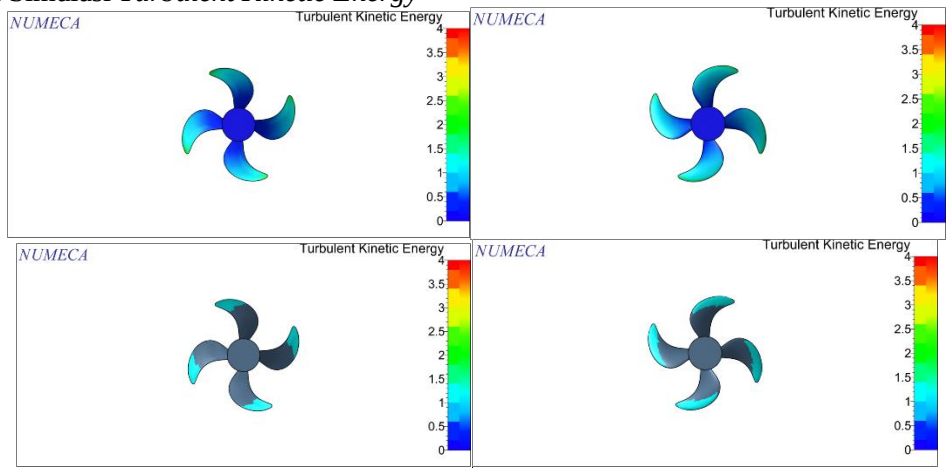


Pada J=1.0

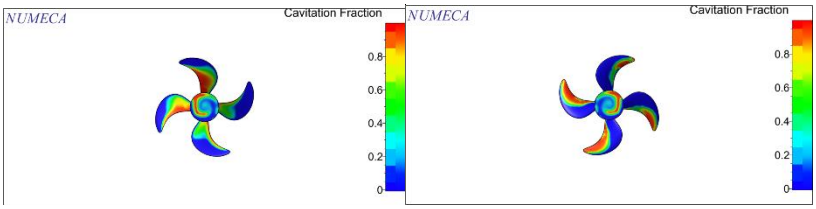
Hasil Simulasi *Pressure*



Hasil Simulasi *Turbulent Kinetic Energy*



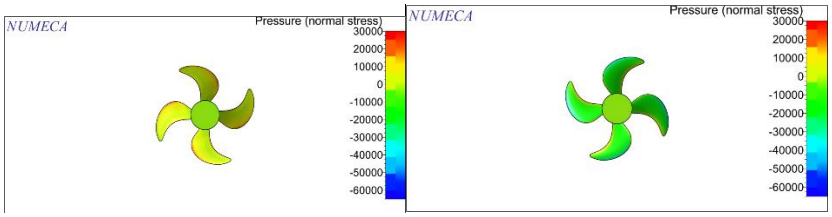
Hasil Simulasi *Cavitation*



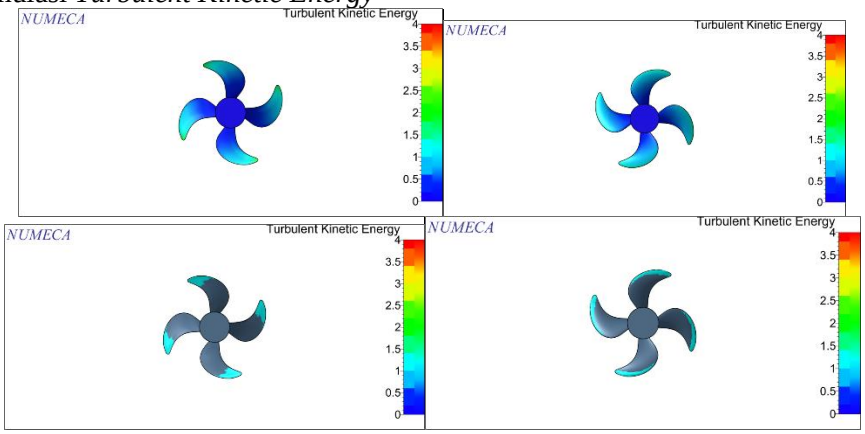
Hasil 1.2 Pitch Setting +1.2

Pada J=0.6

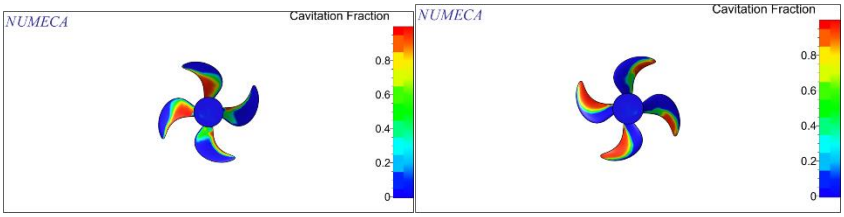
Hasil Simulasi *Pressure*



Hasil Simulasi *Turbulent Kinetic Energy*

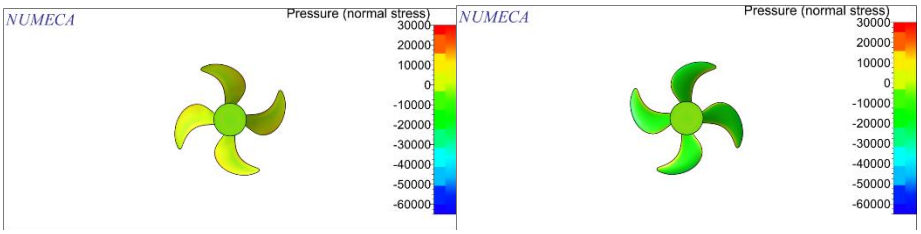


Hasil Simulasi *Cavitation*

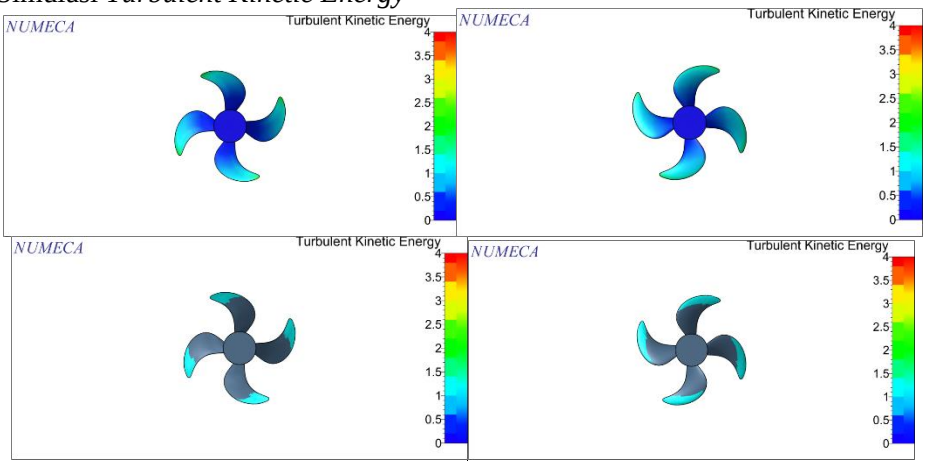


Pada J=0.8

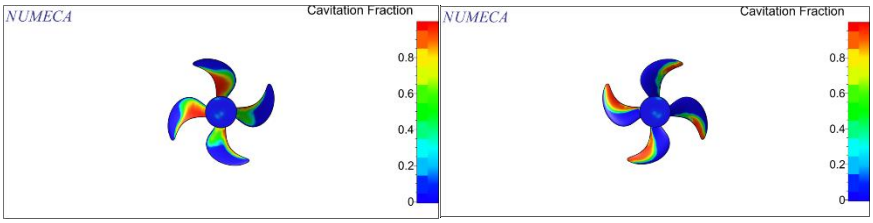
Hasil Simulasi *Pressure*



Hasil Simulasi *Turbulent Kinetic Energy*

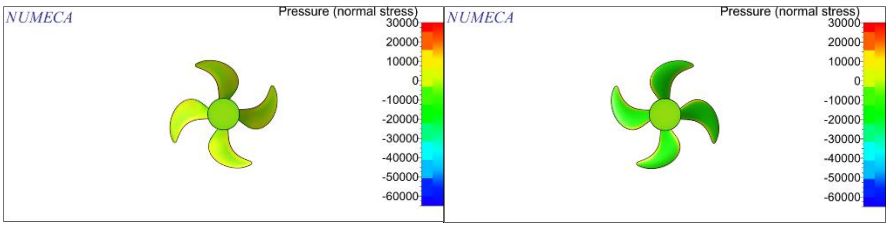


Hasil Simulasi *Cavitation*

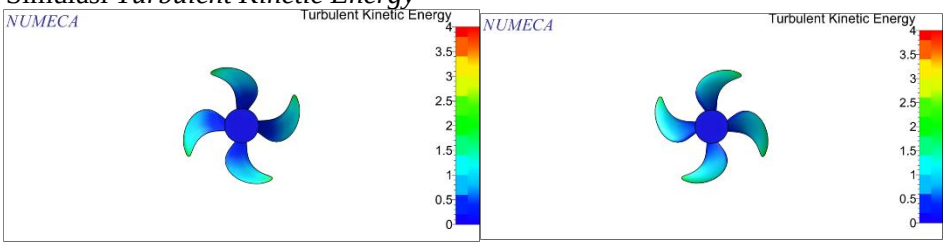


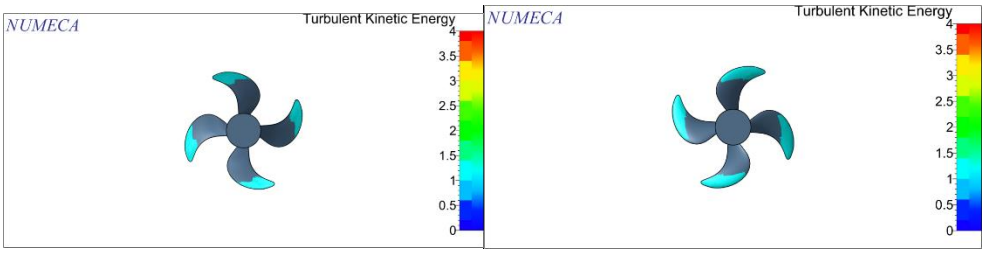
Pada J=1.0

Hasil Simulasi *Pressure*

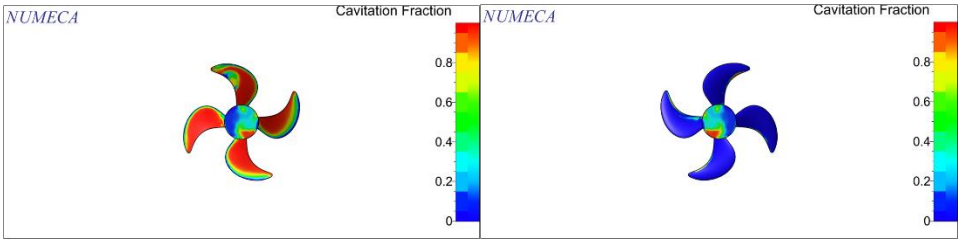


Hasil Simulasi *Turbulent Kinetic Energy*





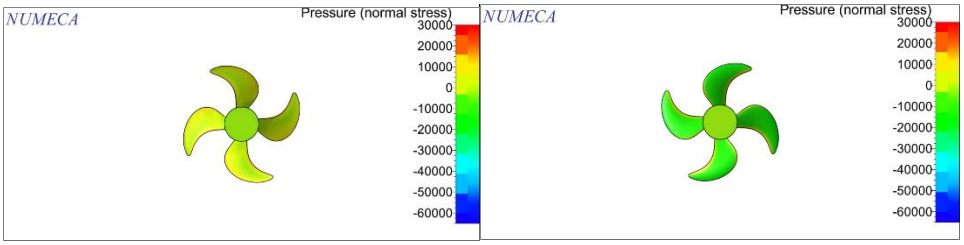
Hasil Simulasi *Cavitation*



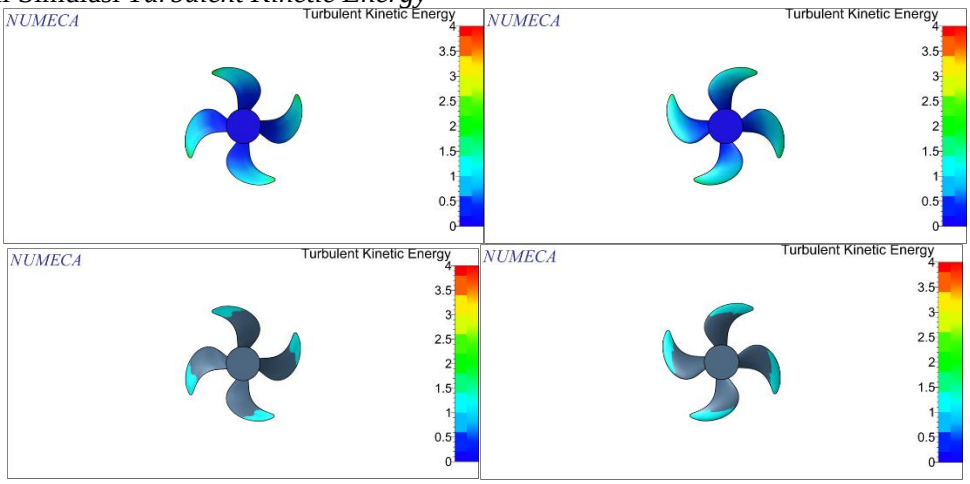
Hasil 1.2 Pitch Setting +1.0

Pada J=0.6

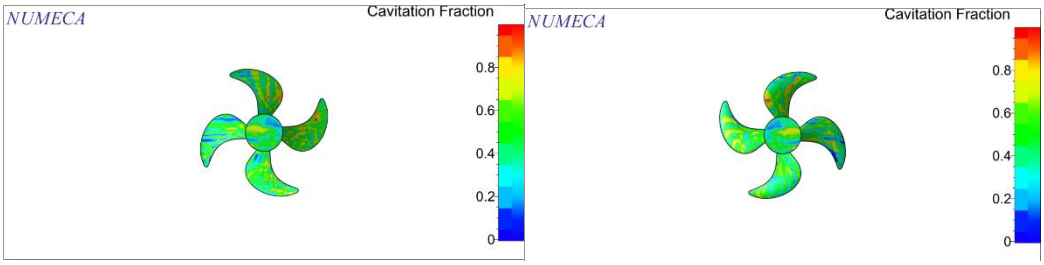
Hasil Simulasi *Pressure*



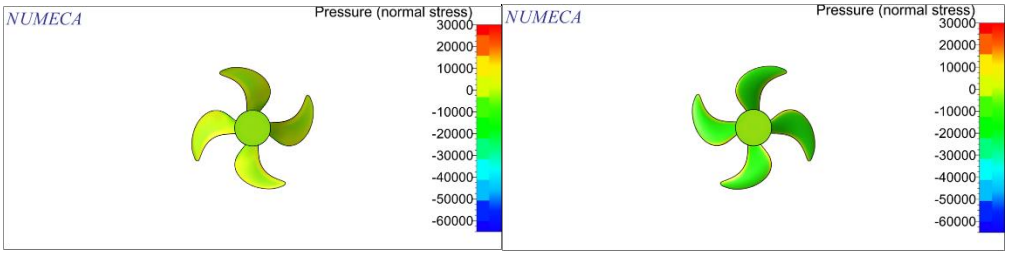
Hasil Simulasi *Turbulent Kinetic Energy*



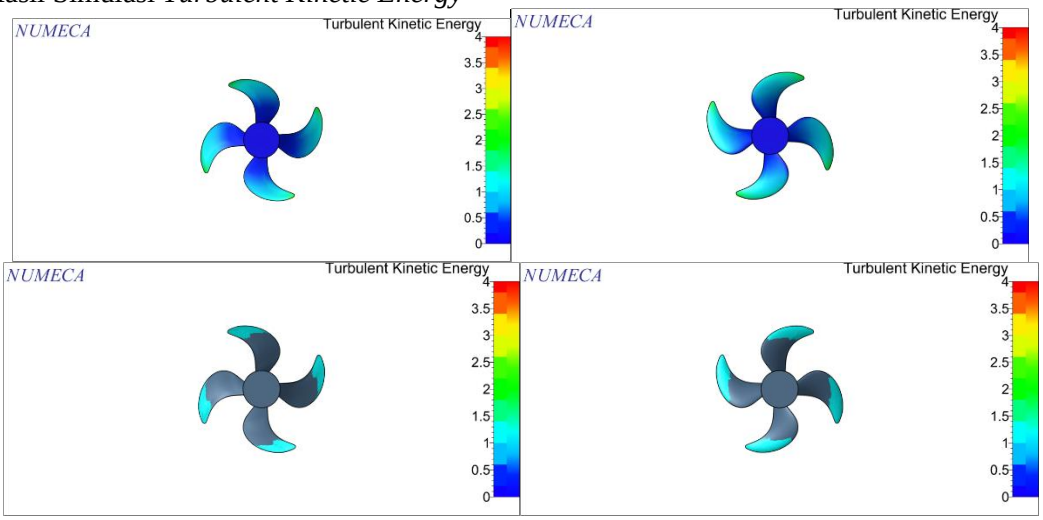
Hasil Simulasi *Cavitation*



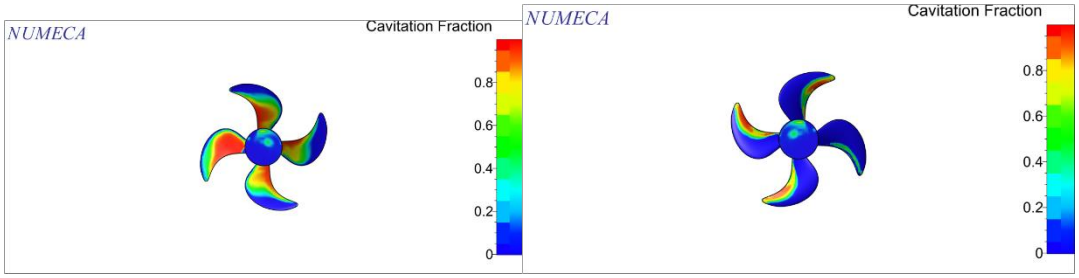
Pada J=0.8
Hasil Simulasi *Pressure*



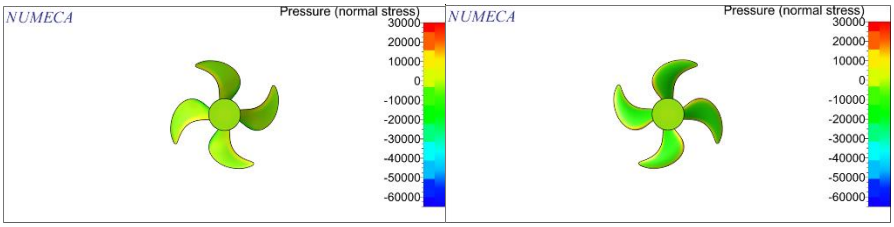
Hasil Simulasi *Turbulent Kinetic Energy*



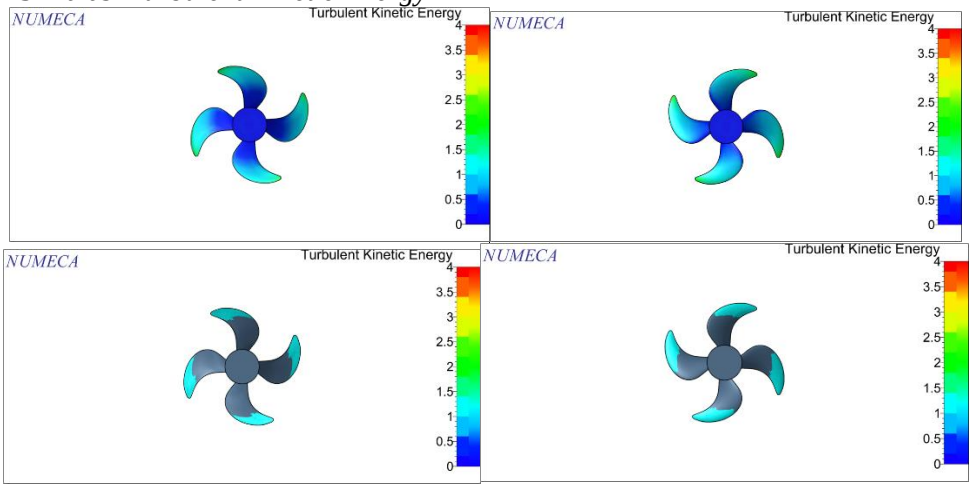
Hasil Simulasi *Cavitation*



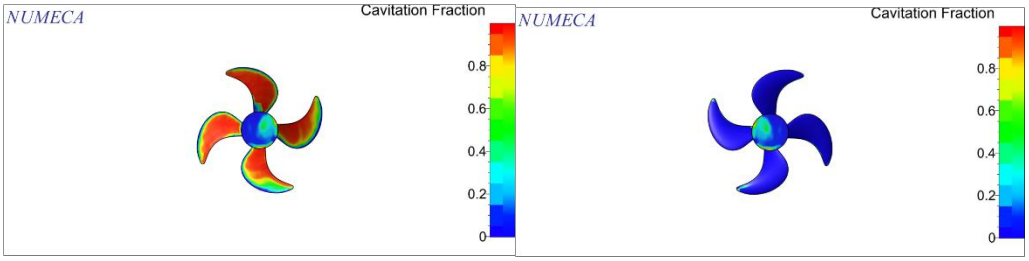
Pada J=1.0
Hasil Simulasi *Pressure*



Hasil Simulasi *Turbulent Kinetic Energy*



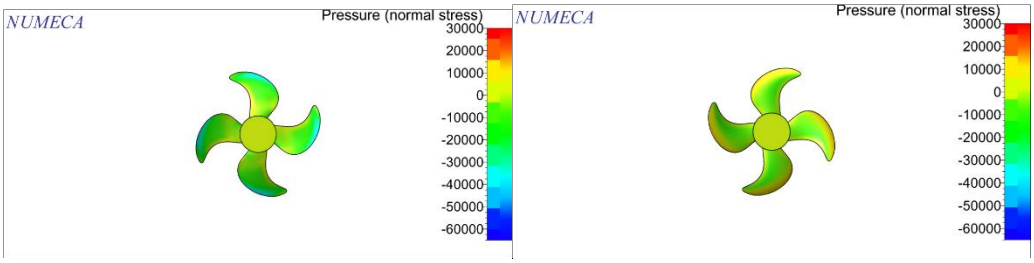
Hasil Simulasi *Cavitation*



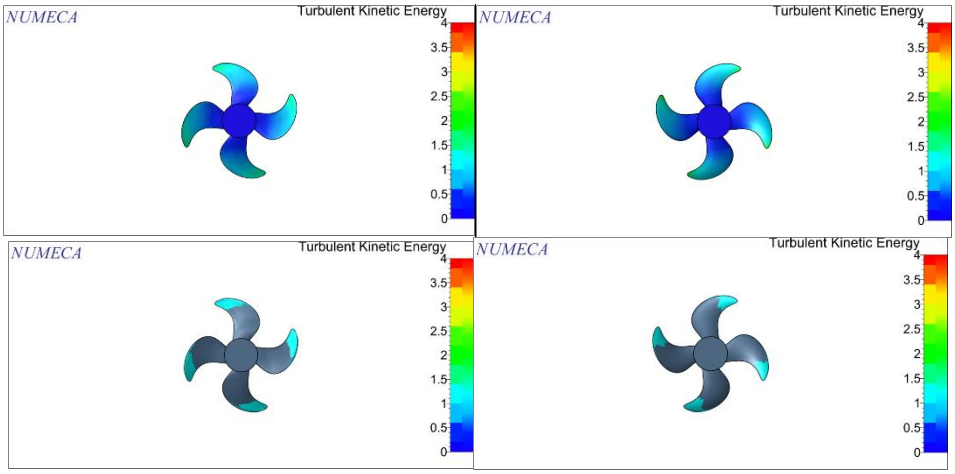
Hasil 1.2 Pitch Setting -1.0

Pada J=0.6

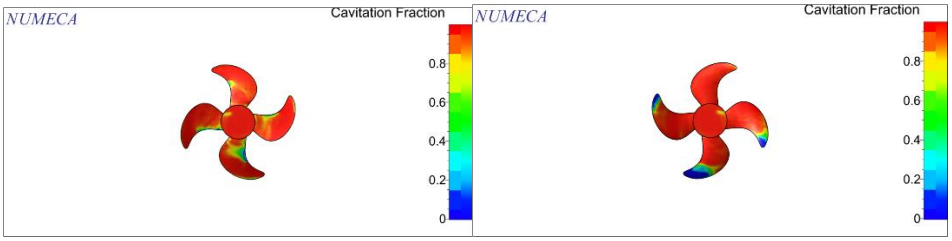
Hasil Simulasi *Pressure*



Hasil Simulasi *Turbulent Kinetic Energy*

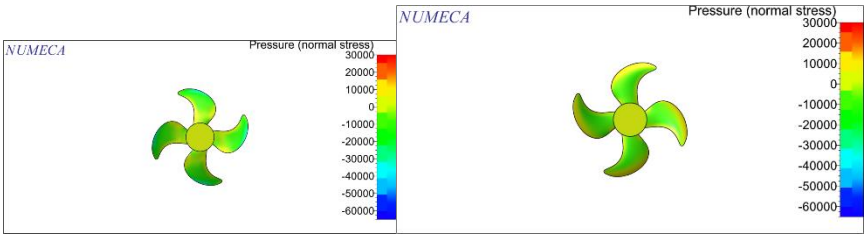


Hasil Simulasi *Cavitation*

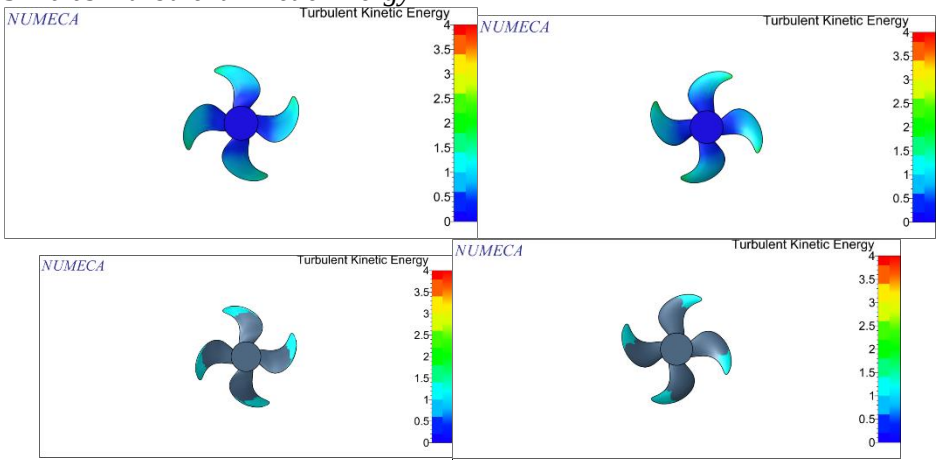


Pada J=0.8

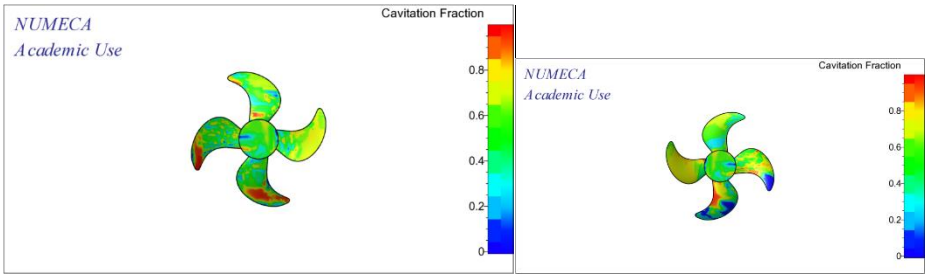
Hasil Simulasi *Pressure*



Hasil Simulasi *Turbulent Kinetic Energy*

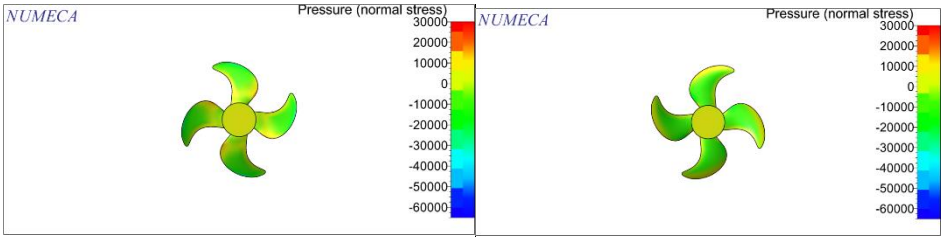


Hasil Simulasi *Cavitation*

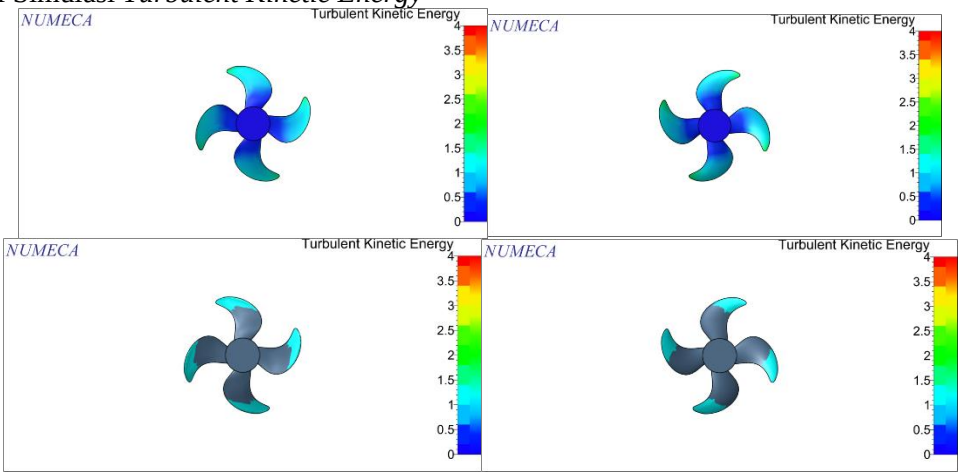


Pada J=1.0

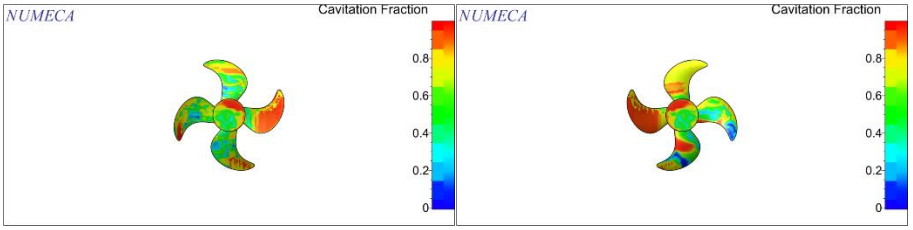
Hasil Simulasi *Pressure*



Hasil Simulasi *Turbulent Kinetic Energy*



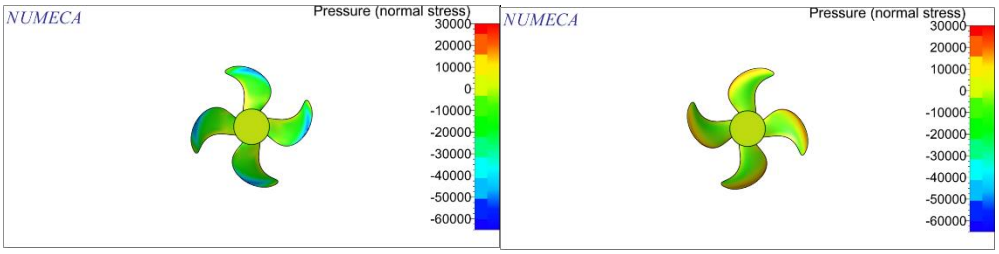
Hasil Simulasi *Cavitation*



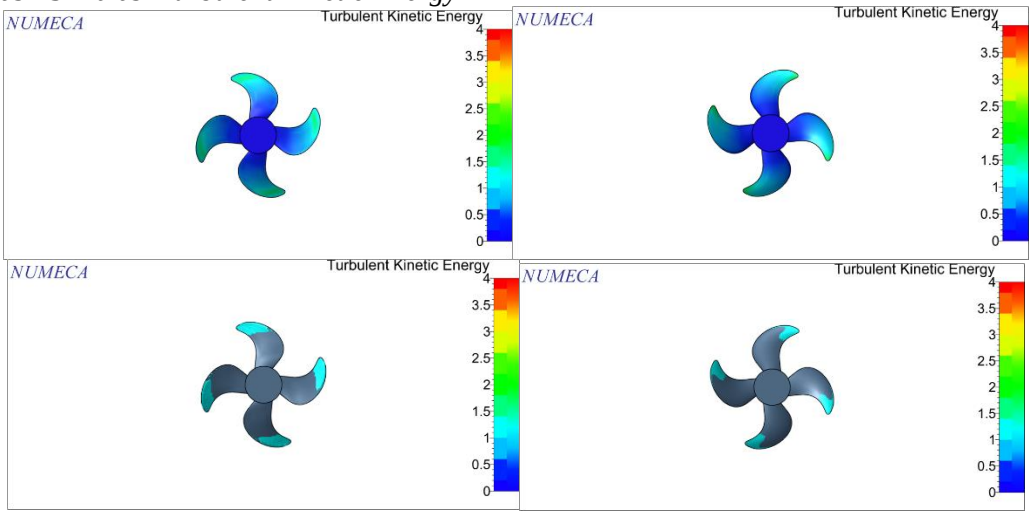
Hasil 1.2 Pitch Setting -1.2

Pada J=0.6

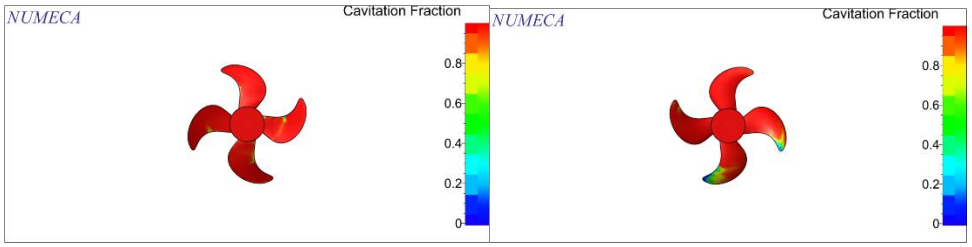
Hasil Simulasi *Pressure*



Hasil Simulasi *Turbulent Kinetic Energy*

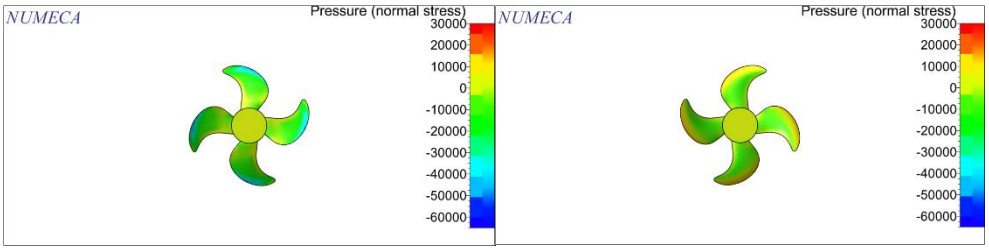


Hasil Simulasi *Cavitation*

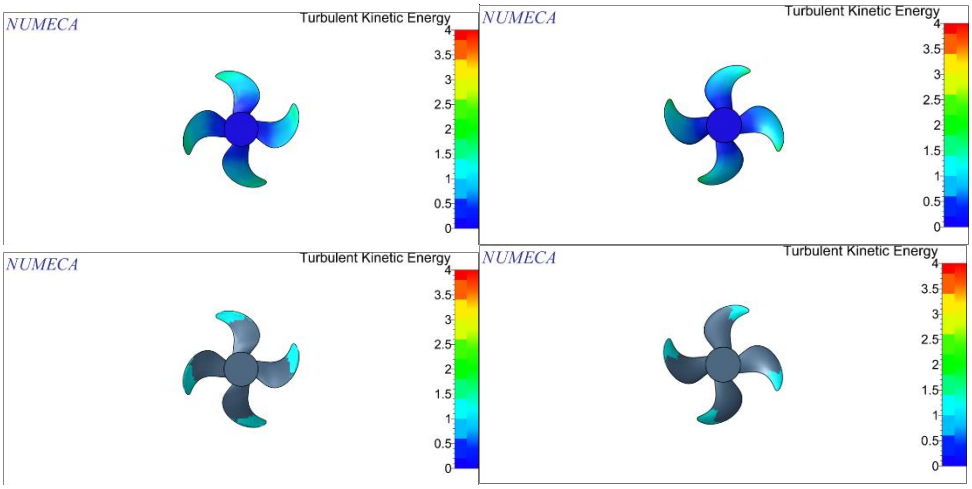


Pada J=0.8

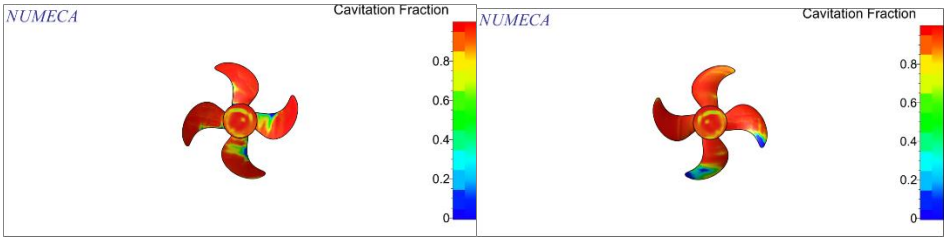
Hasil Simulasi *Pressure*



Hasil Simulasi *Turbulent Kinetic Energy*

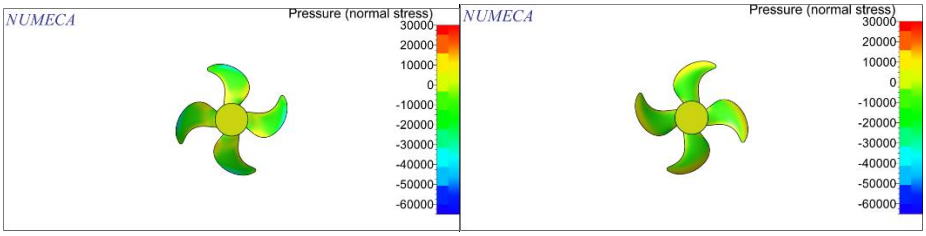


Hasil Simulasi *Cavitation*

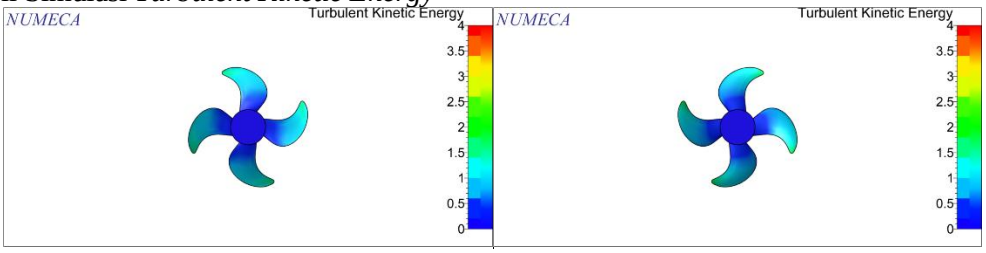


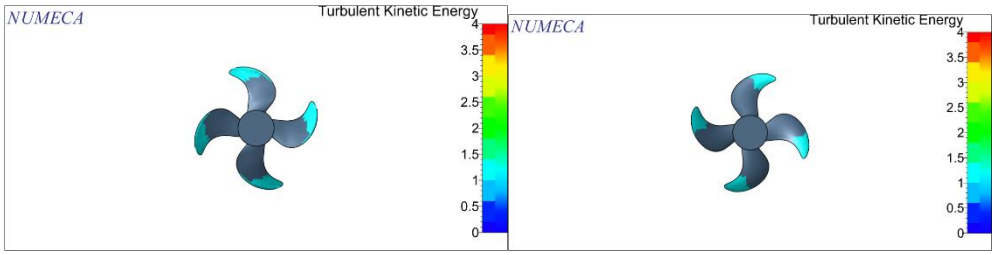
Pada J=1.0

Hasil Simulasi *Pressure*

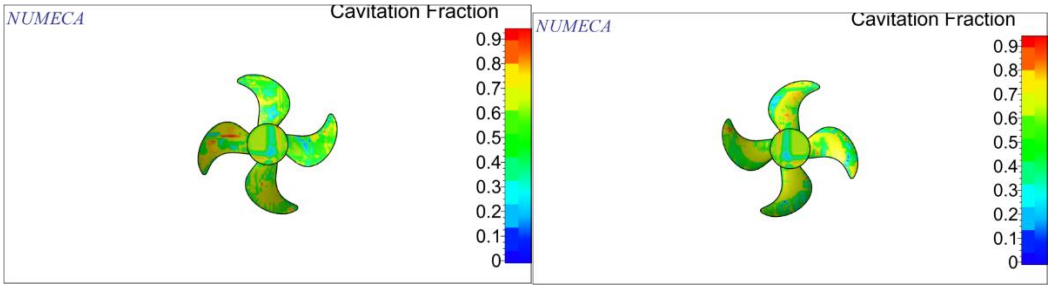


Hasil Simulasi *Turbulent Kinetic Energy*





Hasil Simulasi *Cavitation*

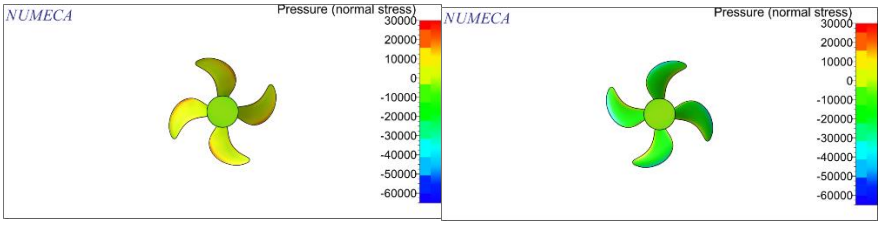


Model P/D 1.0

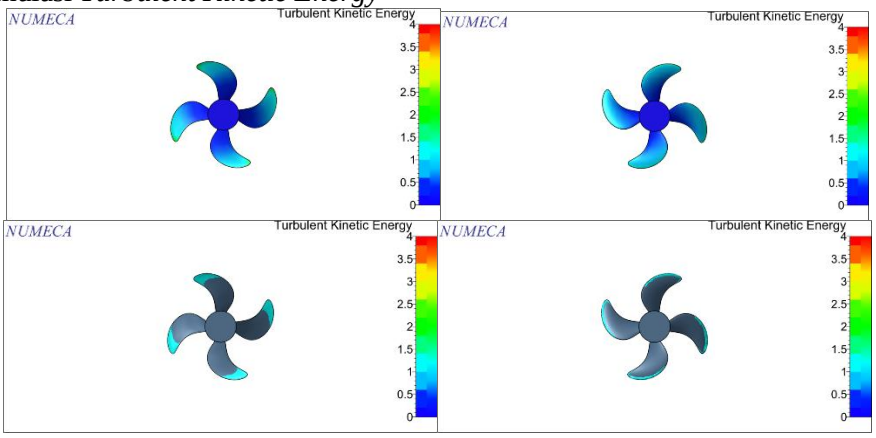
Hasil 1.0 Pitch Setting +1.2

Pada J=0.6

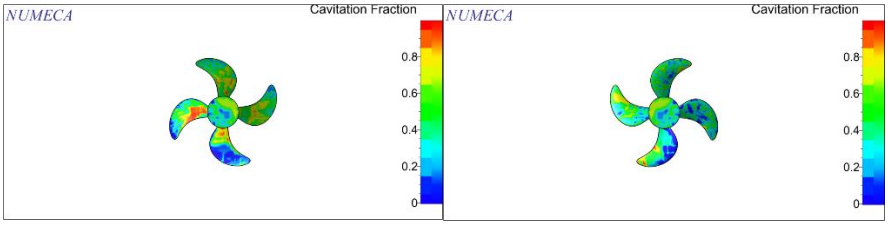
Hasil Simulasi *Pressure*



Hasil Simulasi *Turbulent Kinetic Energy*

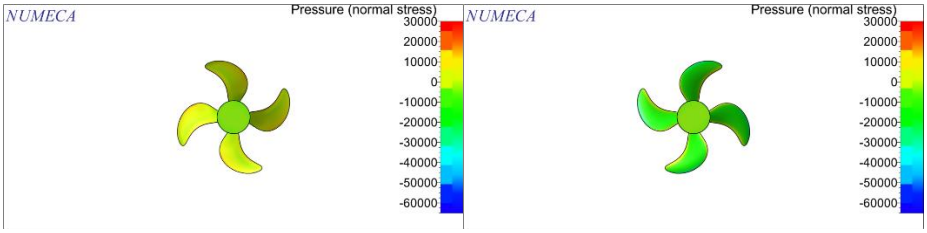


Hasil Simulasi *Cavitation*

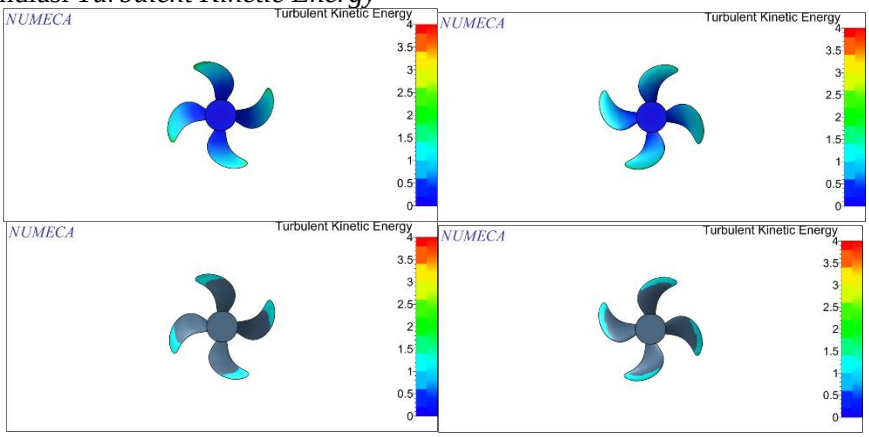


Pada J=0.8

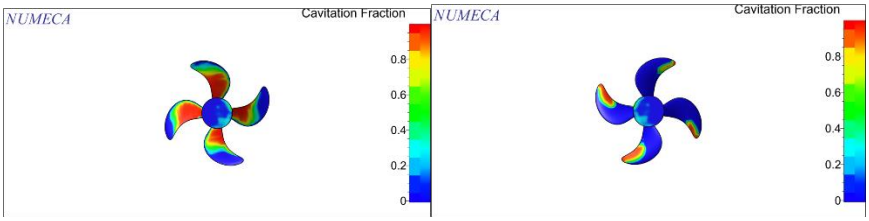
Hasil Simulasi *Pressure*



Hasil Simulasi *Turbulent Kinetic Energy*

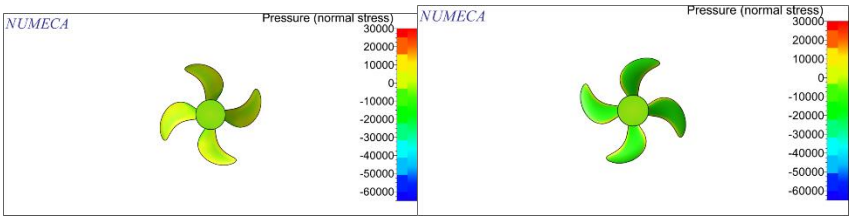


Hasil Simulasi *Cavitation*

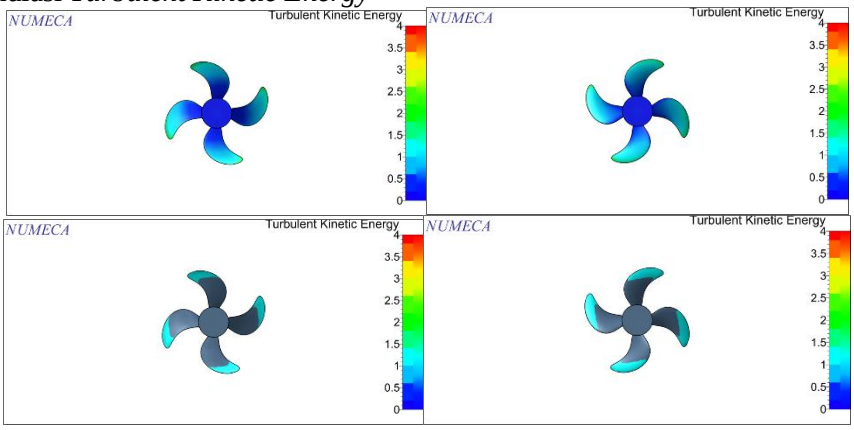


Pada J=1.0

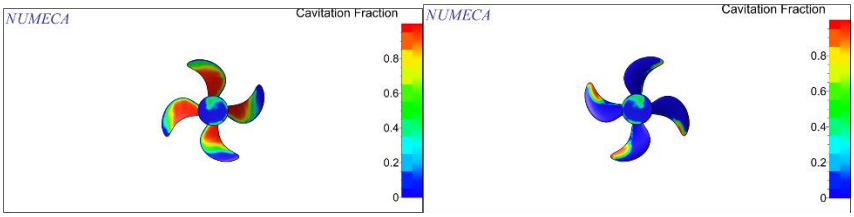
Hasil Simulasi *Pressure*



Hasil Simulasi *Turbulent Kinetic Energy*



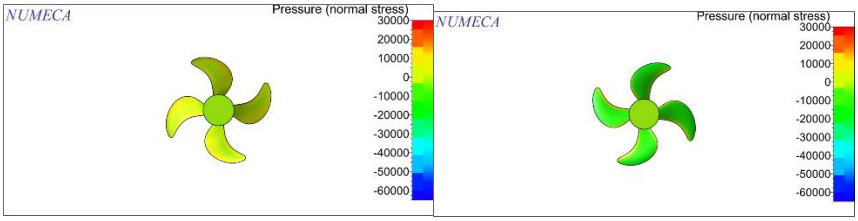
Hasil Simulasi *Cavitation*



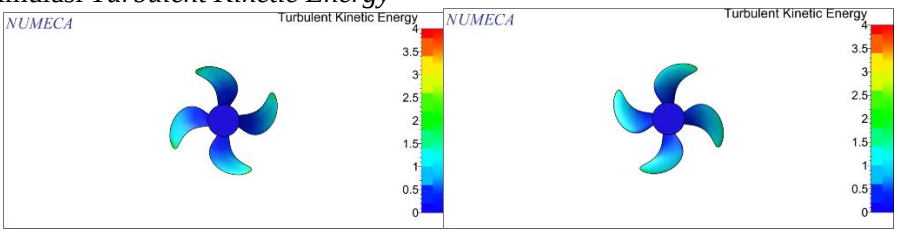
Hasil 1.0 Pitch Setting +1.0

Pada J=0.6

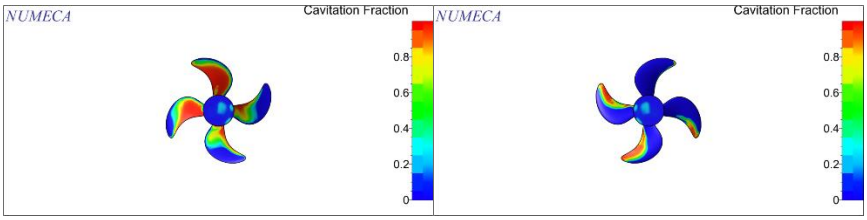
Hasil Simulasi *Pressure*



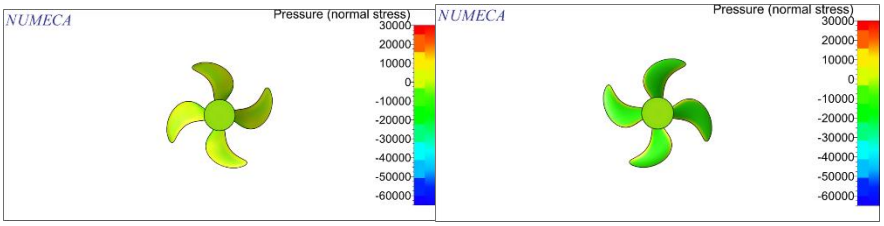
Hasil Simulasi *Turbulent Kinetic Energy*



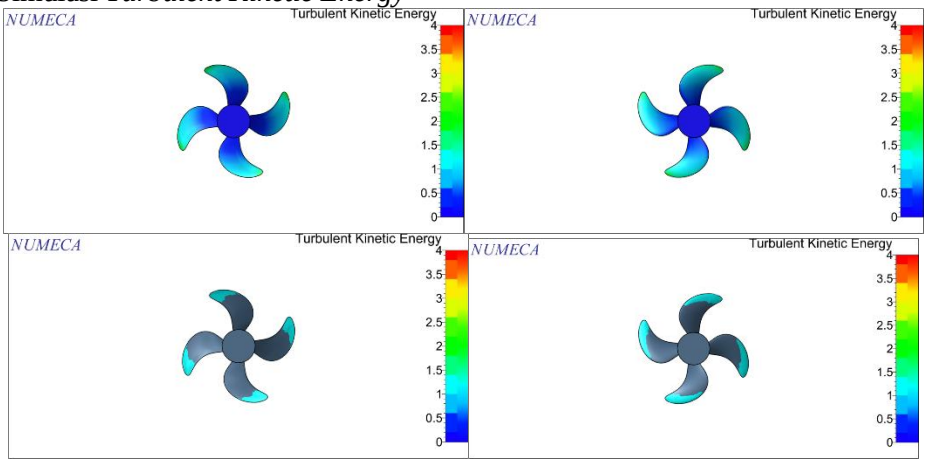
Hasil Simulasi *Cavitation*



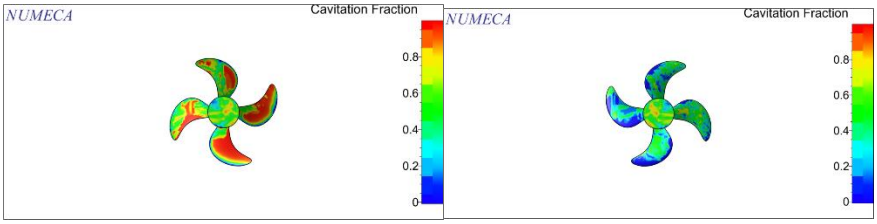
Pada J=0.8
Hasil Simulasi *Pressure*



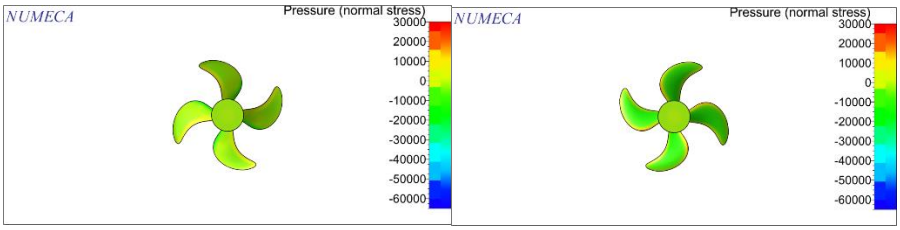
Hasil Simulasi *Turbulent Kinetic Energy*



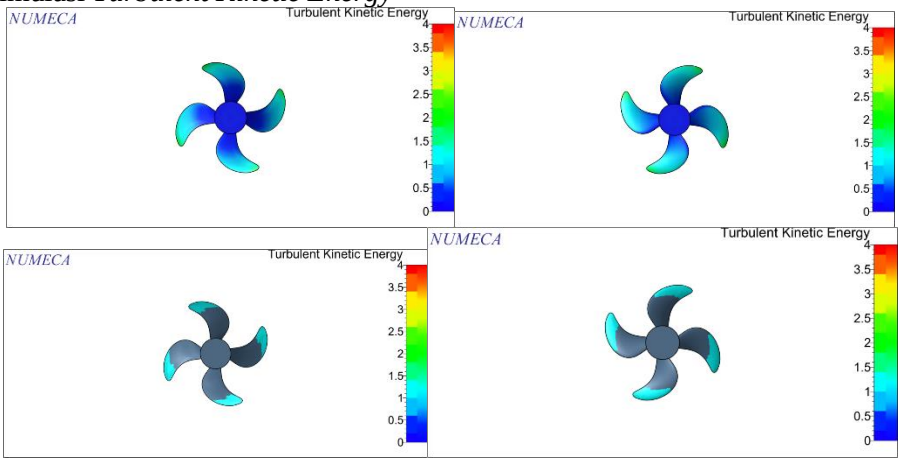
Hasil Simulasi *Cavitation*



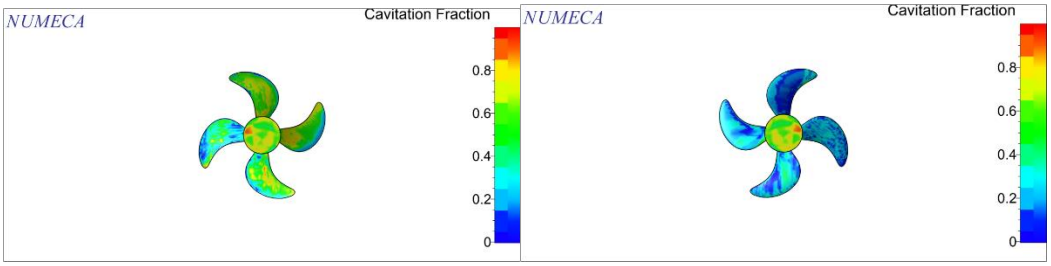
Pada J=1.0
Hasil Simulasi *Pressure*



Hasil Simulasi *Turbulent Kinetic Energy*



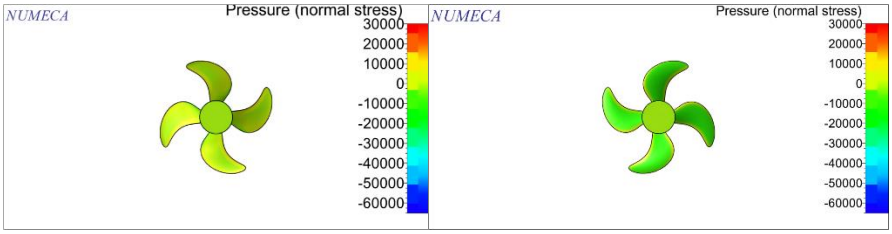
Hasil Simulasi *Cavitation*



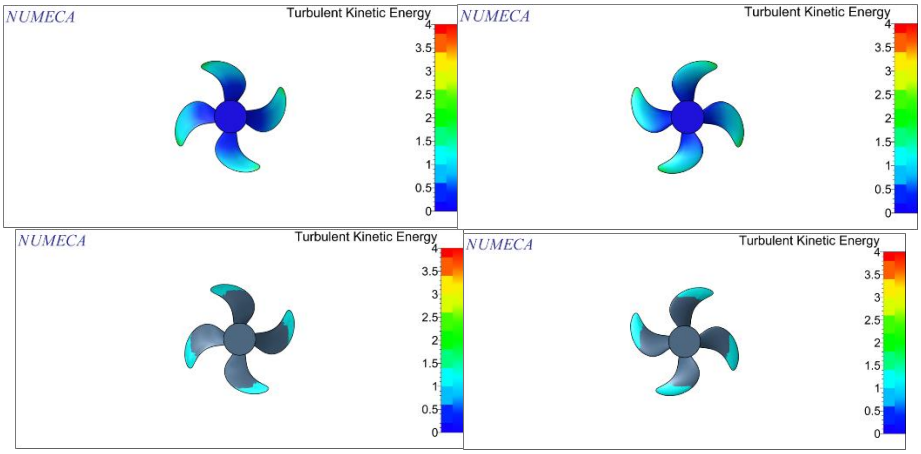
Hasil 1.0 Pitch Setting +0.8

Pada J=0.6

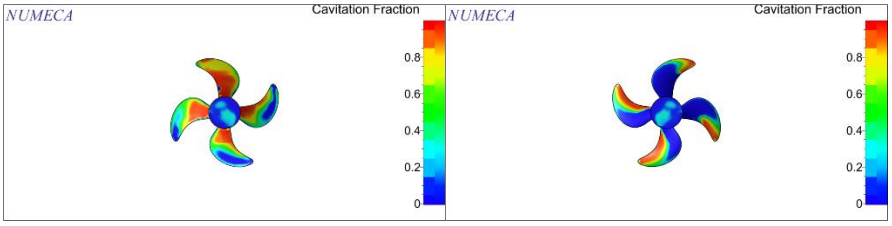
Hasil Simulasi *Pressure*



Hasil Simulasi *Turbulent Kinetic Energy*

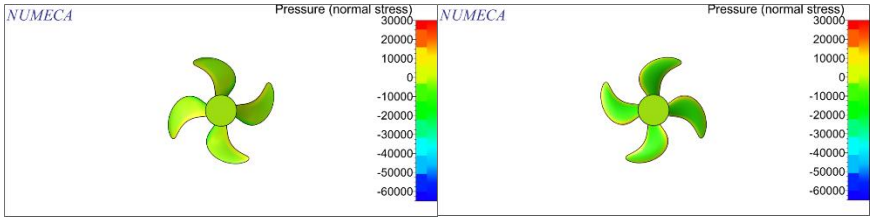


Hasil Simulasi *Cavitation*

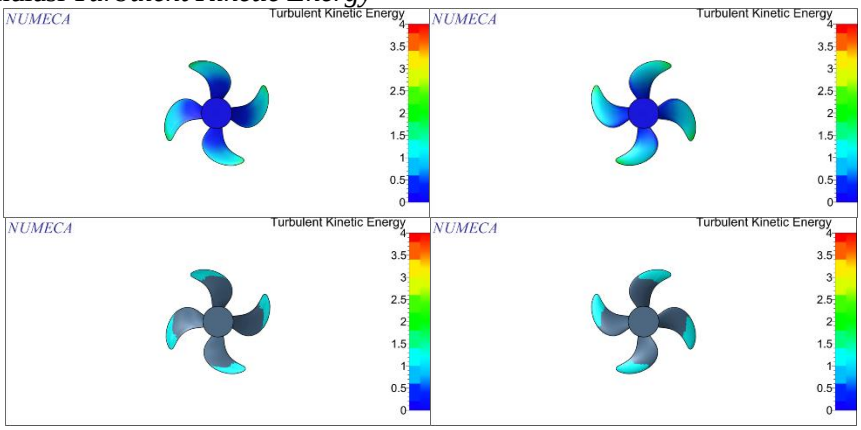


Pada J=0.8

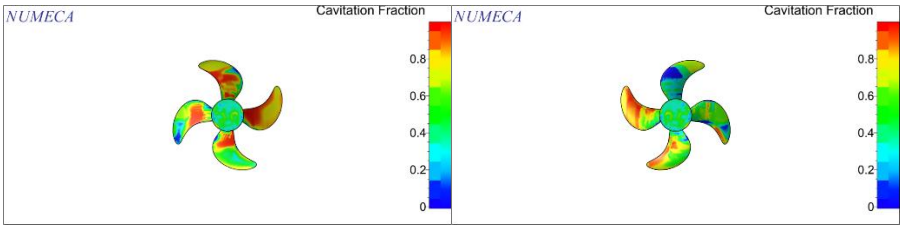
Hasil Simulasi *Pressure*



Hasil Simulasi *Turbulent Kinetic Energy*

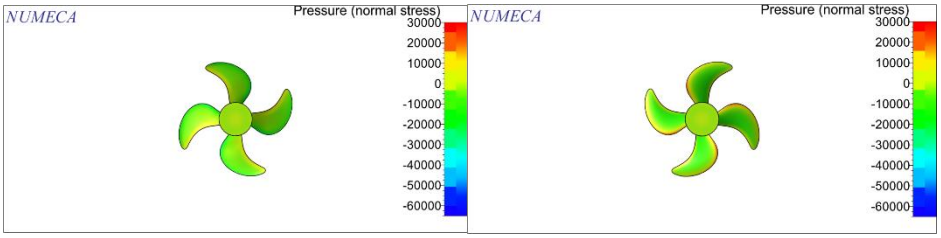


Hasil Simulasi *Cavitation*

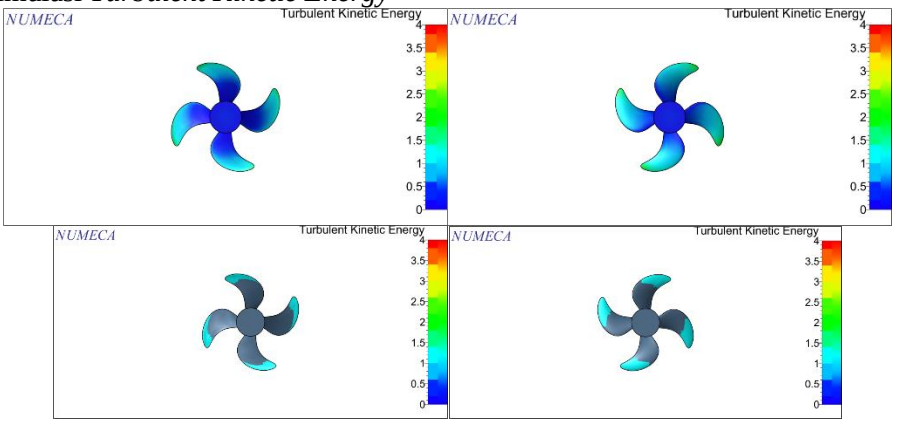


Pada J=1.0

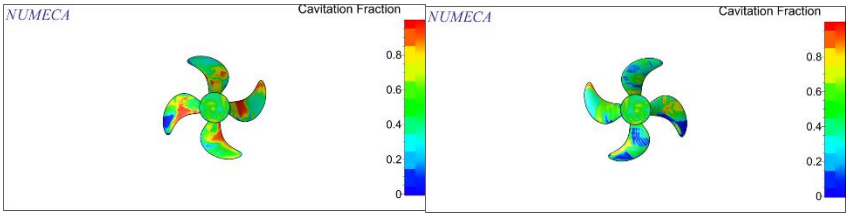
Hasil Simulasi *Pressure*



Hasil Simulasi *Turbulent Kinetic Energy*



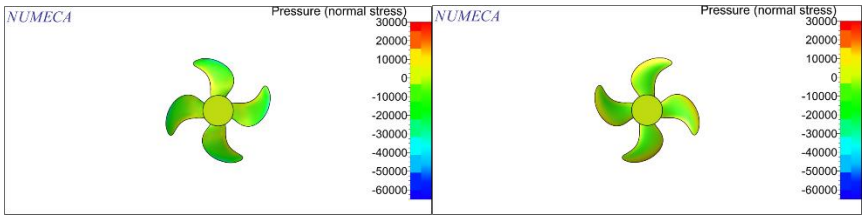
Hasil Simulasi *Cavitation*



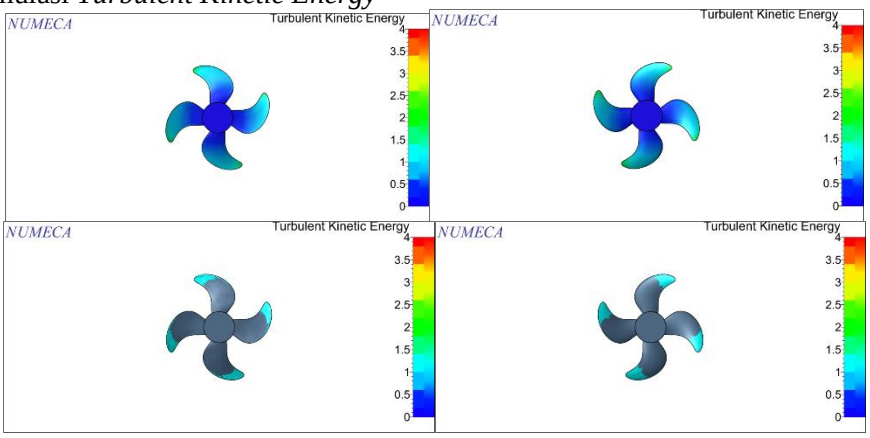
Hasil 1.0 Pitch Setting -0.8

Pada J=0.6

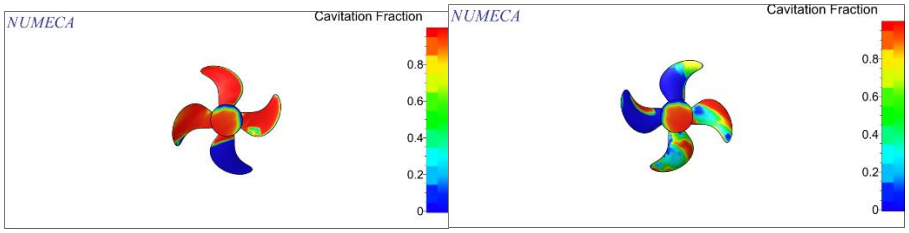
Hasil Simulasi *Pressure*



Hasil Simulasi *Turbulent Kinetic Energy*

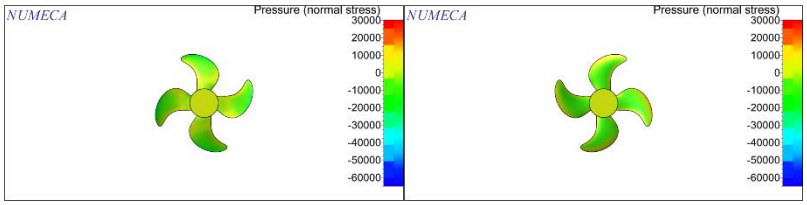


Hasil Simulasi *Cavitation*

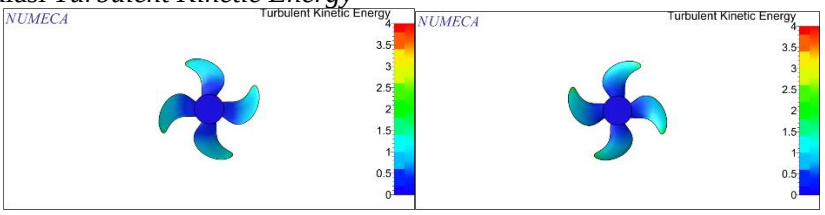


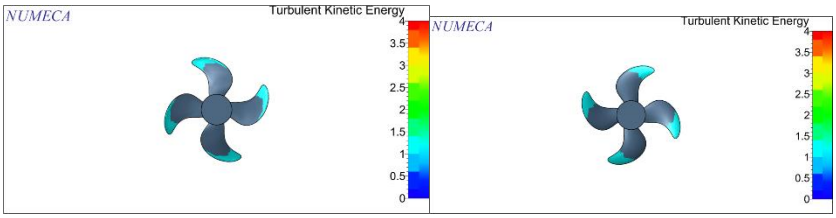
Pada J=0.8

Hasil Simulasi *Pressure*

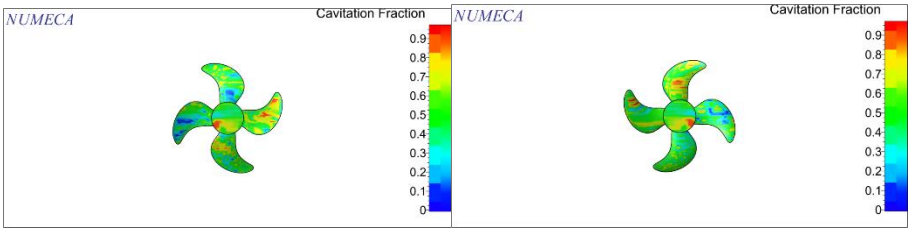


Hasil Simulasi *Turbulent Kinetic Energy*



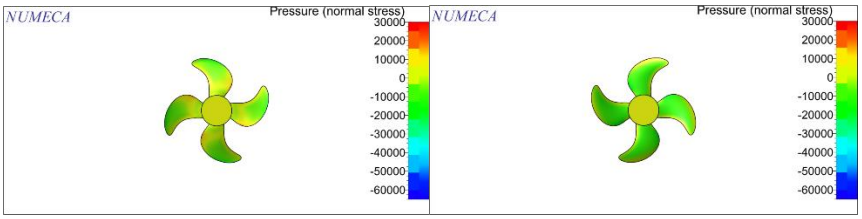


Hasil Simulasi *Cavitation*

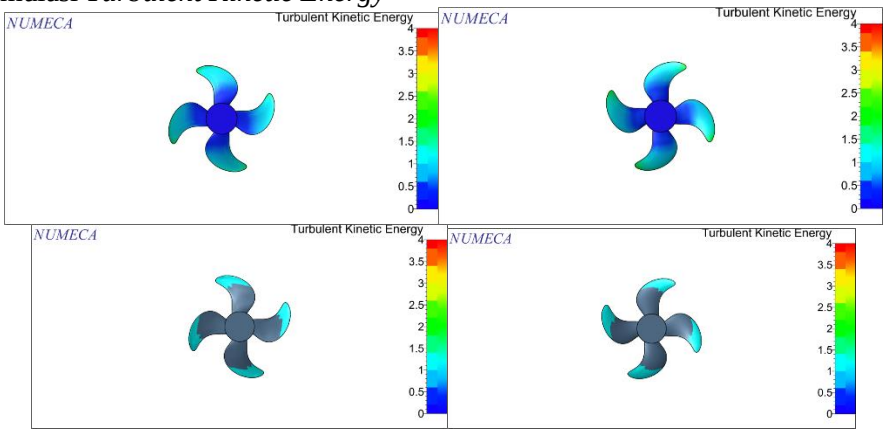


Pada J=1.0

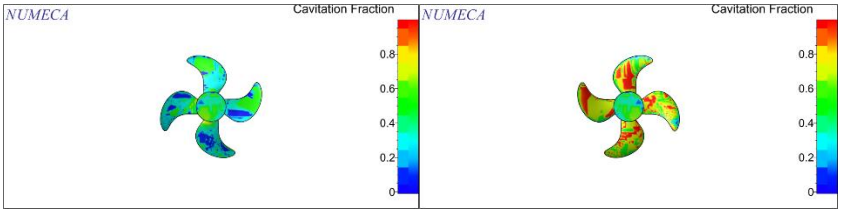
Hasil Simulasi *Pressure*



Hasil Simulasi *Turbulent Kinetic Energy*



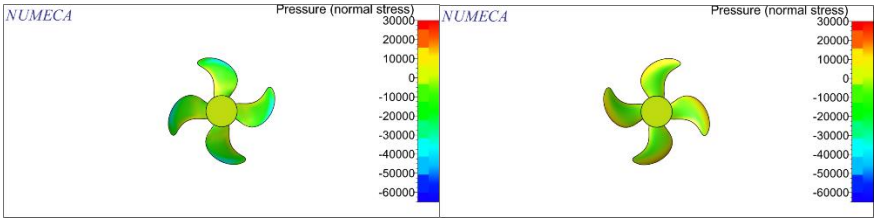
Hasil Simulasi *Cavitation*



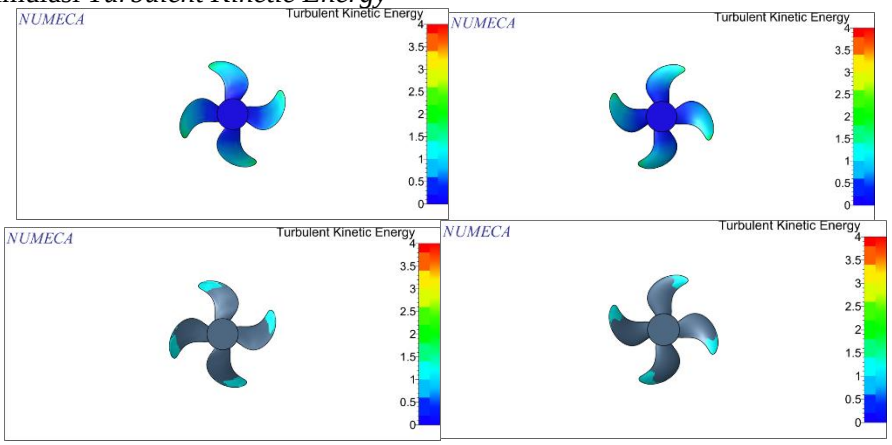
Hasil 1.0 Pitch Setting -1.0

Pada J=0.6

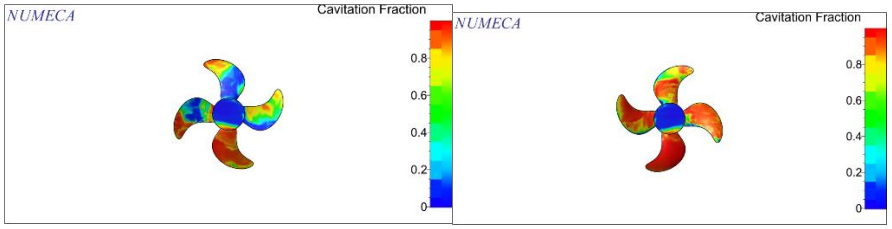
Hasil Simulasi *Pressure*



Hasil Simulasi *Turbulent Kinetic Energy*

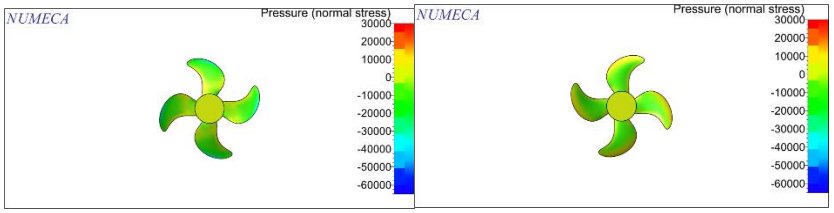


Hasil Simulasi *Cavitation*

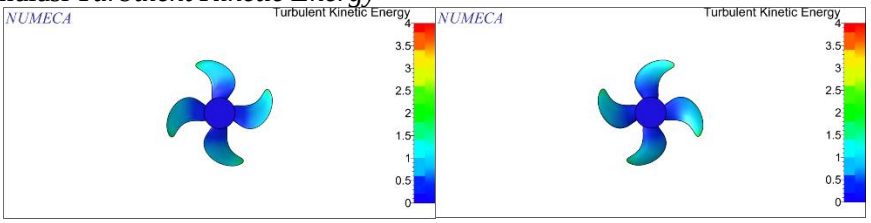


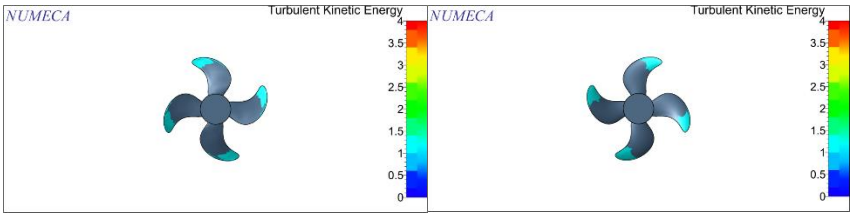
Pada J=0.8

Hasil Simulasi *Pressure*

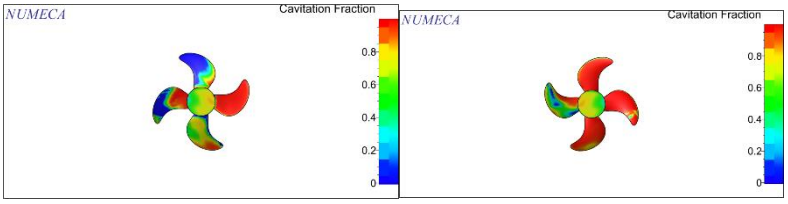


Hasil Simulasi *Turbulent Kinetic Energy*



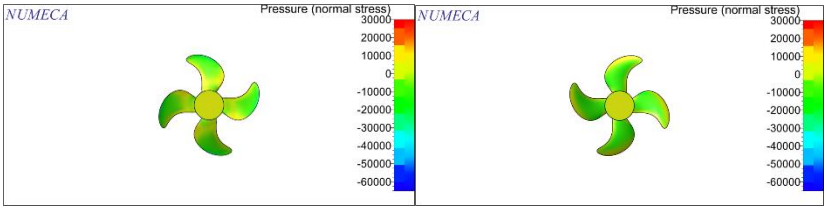


Hasil Simulasi *Cavitation*

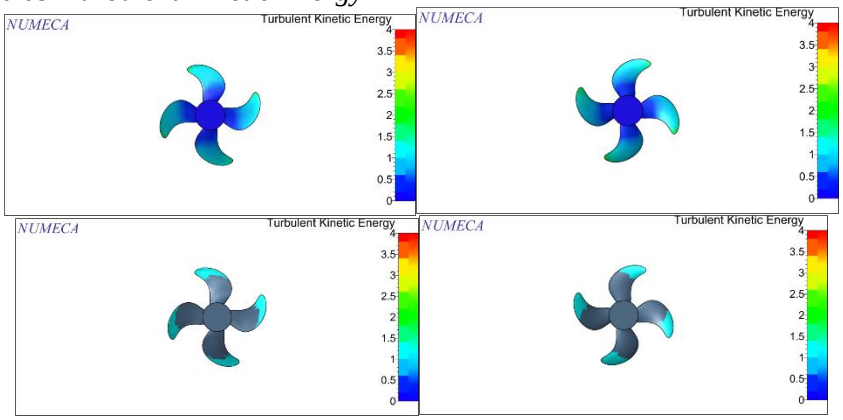


Pada J=1.0

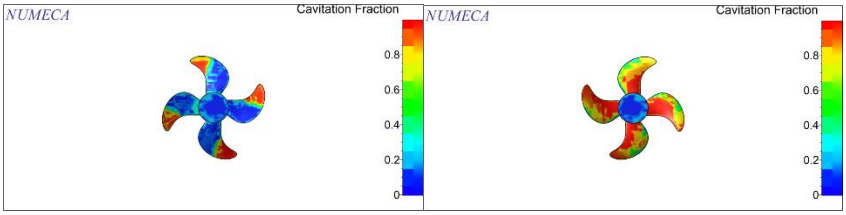
Hasil Simulasi *Pressure*



Hasil Simulasi *Turbulent Kinetic Energy*



Hasil Simulasi *Cavitation*

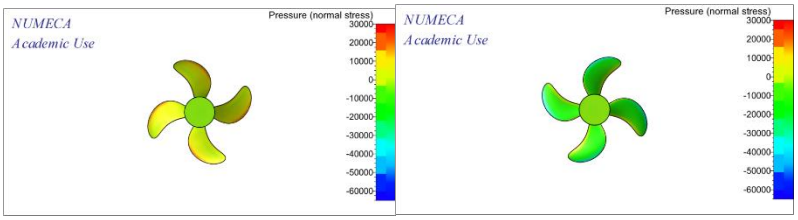


Model P/D 0.8

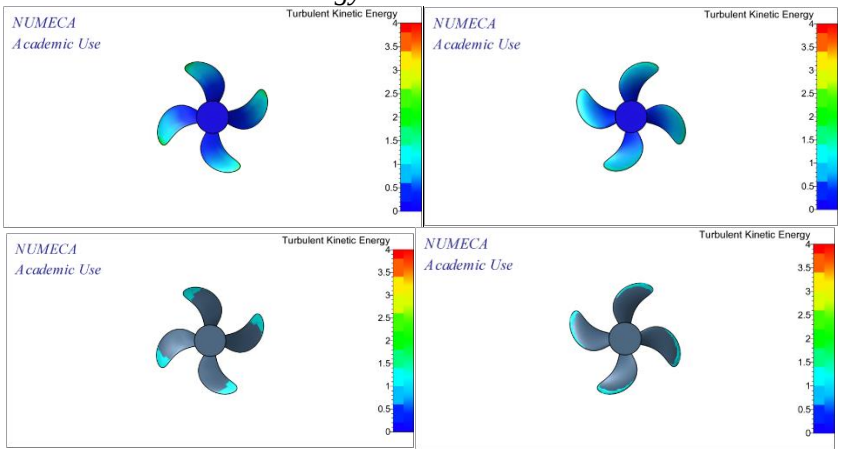
Hasil 0.8 Pitch Setting +1.0

Pada J=0.4

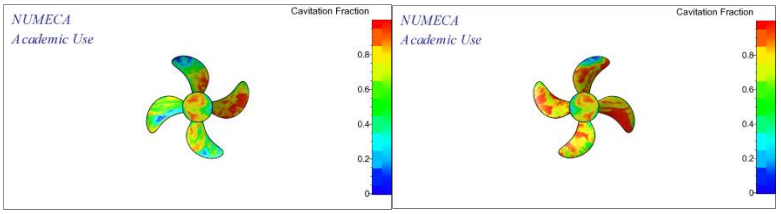
Hasil Simulasi *Pressure*



Hasil Simulasi *Turbulent Kinetic Energy*

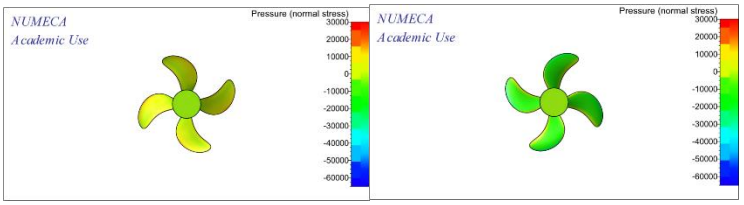


Hasil Simulasi *Cavitation*

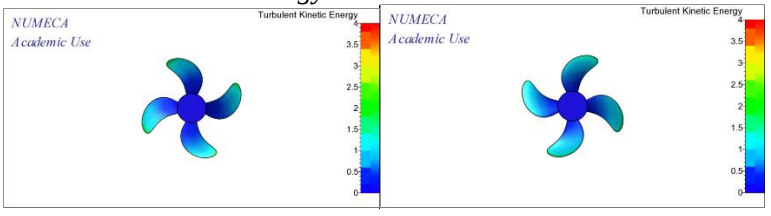


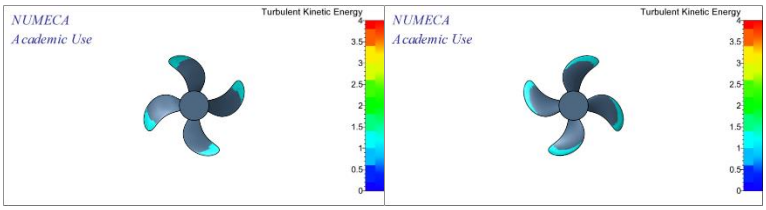
Pada J=0.6

Hasil Simulasi *Pressure*

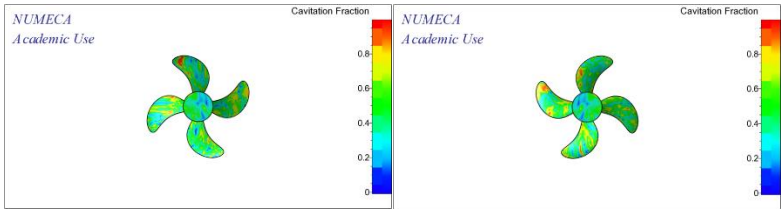


Hasil Simulasi *Turbulent Kinetic Energy*



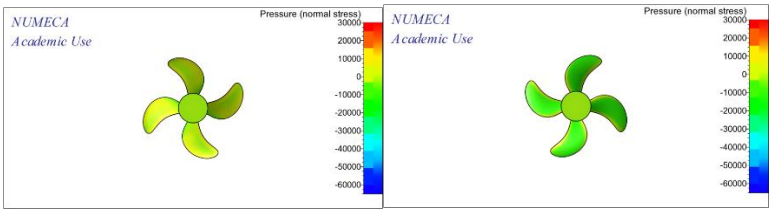


Hasil Simulasi *Cavitation*

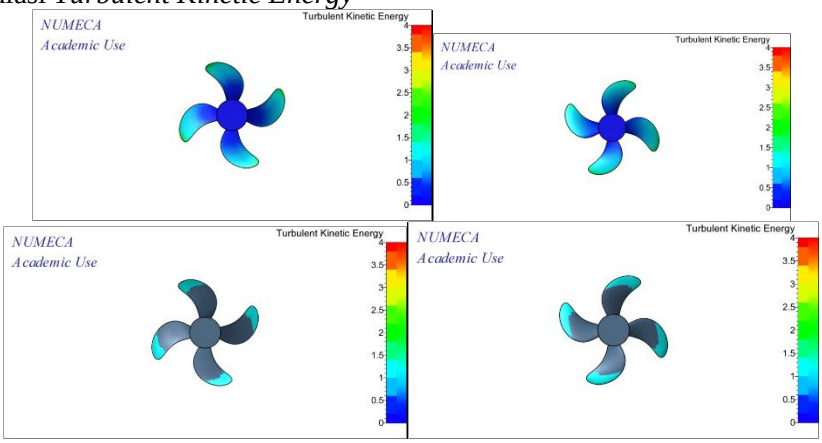


Pada J=0.8

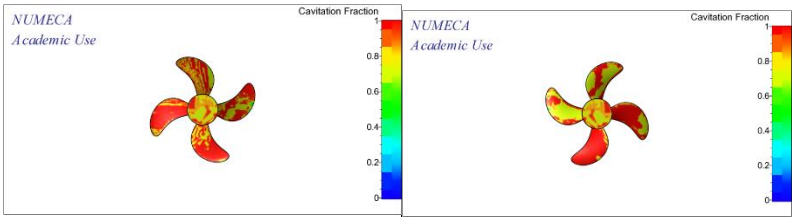
Hasil Simulasi *Pressure*



Hasil Simulasi *Turbulent Kinetic Energy*



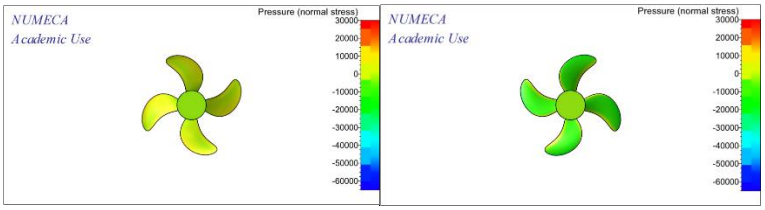
Hasil Simulasi *Cavitation*



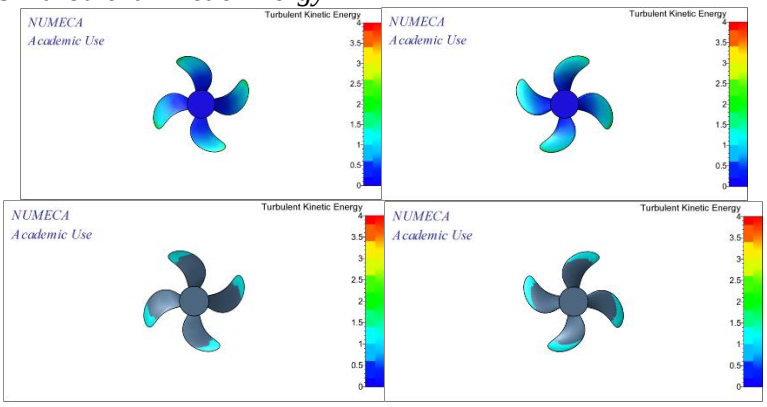
Hasil 0.8 Pitch Setting +0.8

Pada J=0.4

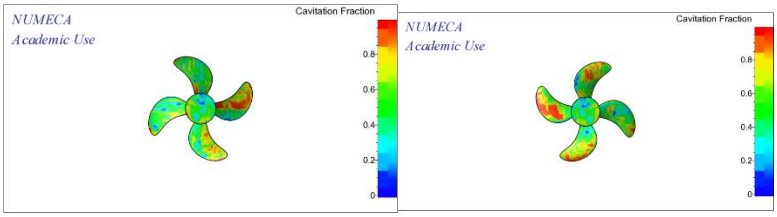
Hasil Simulasi *Pressure*



Hasil Simulasi *Turbulent Kinetic Energy*

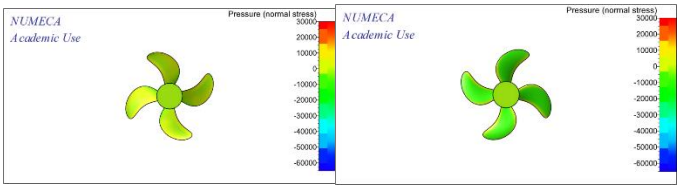


Hasil Simulasi *Cavitation*

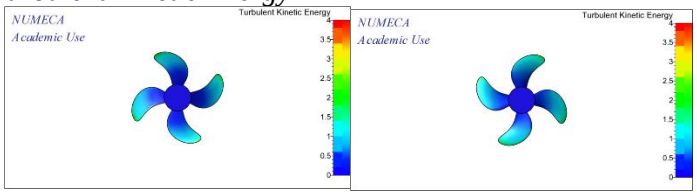


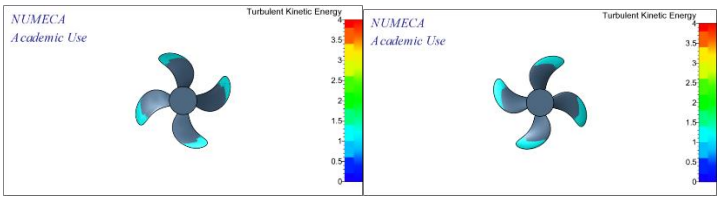
Pada J=0.6

Hasil Simulasi *Pressure*

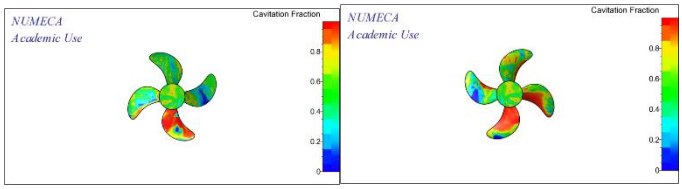


Hasil Simulasi *Turbulent Kinetic Energy*



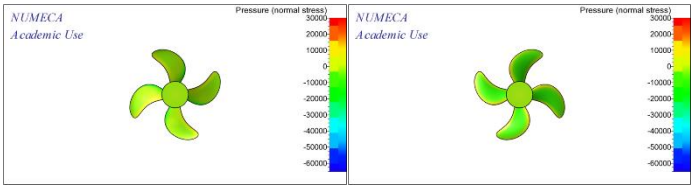


Hasil Simulasi *Cavitation*

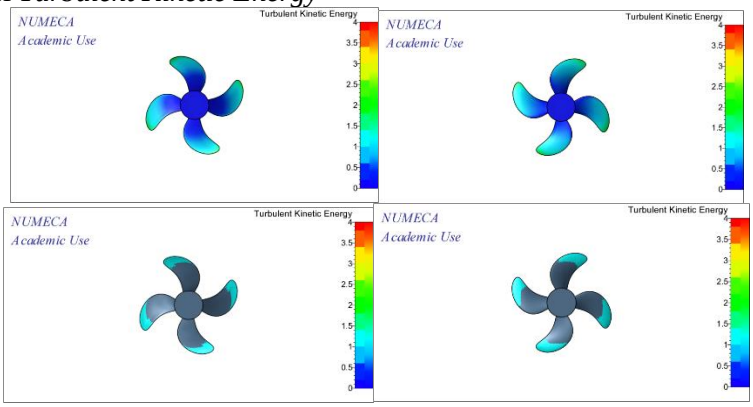


Pada J=0.8

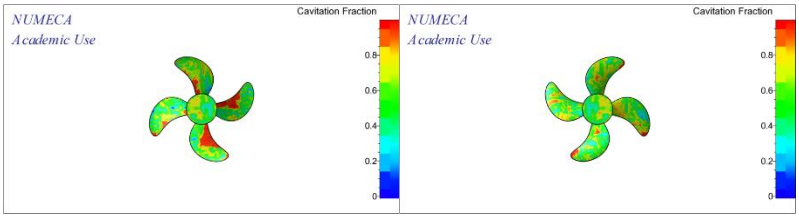
Hasil Simulasi *Pressure*



Hasil Simulasi *Turbulent Kinetic Energy*



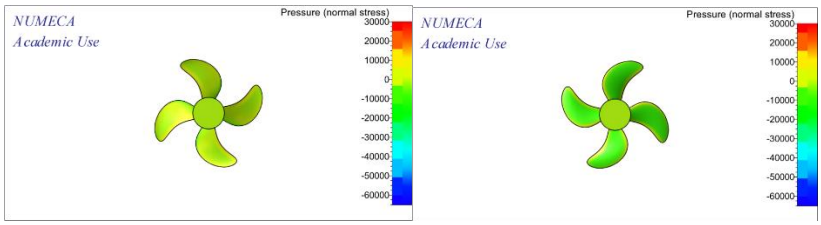
Hasil Simulasi *Cavitation*



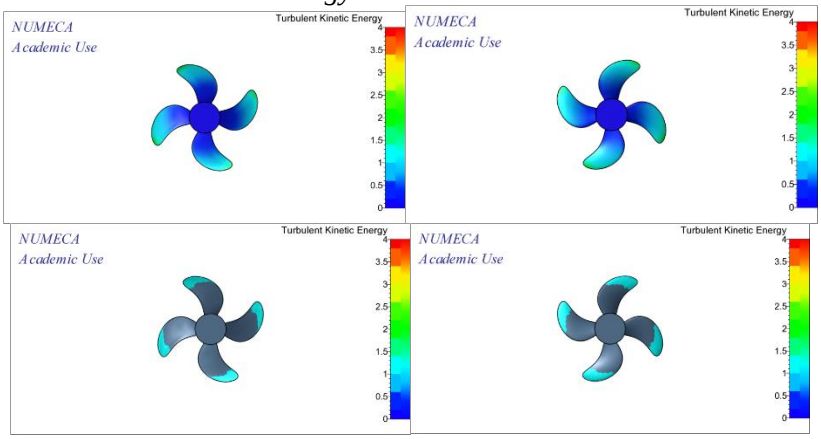
Hasil 0.8 Pitch Setting +0.6

Pada J=0.4

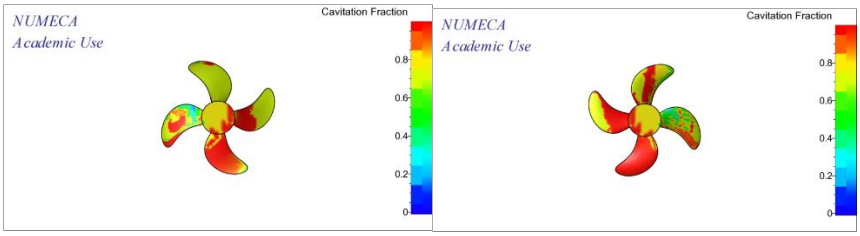
Hasil Simulasi *Pressure*



Hasil Simulasi *Turbulent Kinetic Energy*

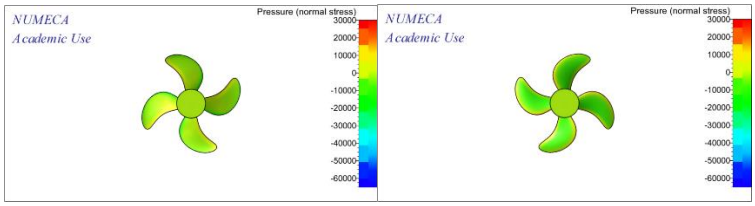


Hasil Simulasi *Cavitation*

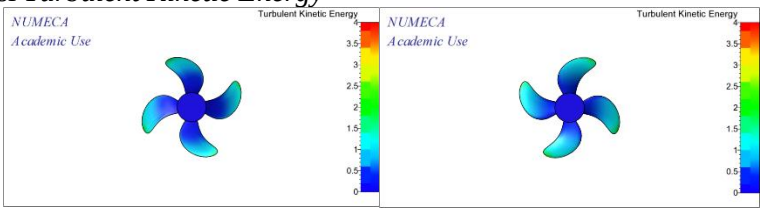


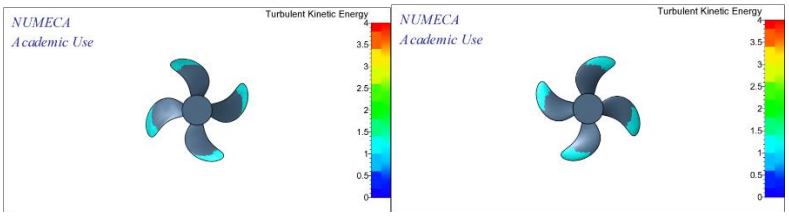
Pada J=0.6

Hasil Simulasi *Pressure*

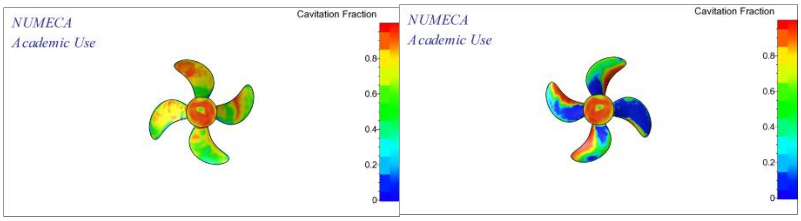


Hasil Simulasi *Turbulent Kinetic Energy*



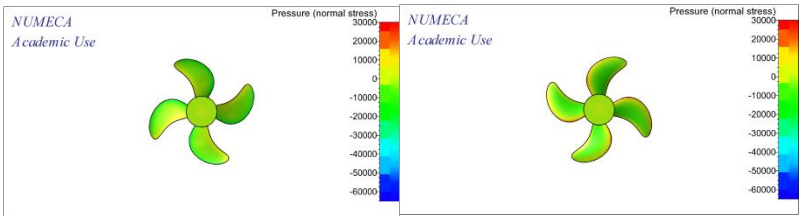


Hasil Simulasi *Cavitation*

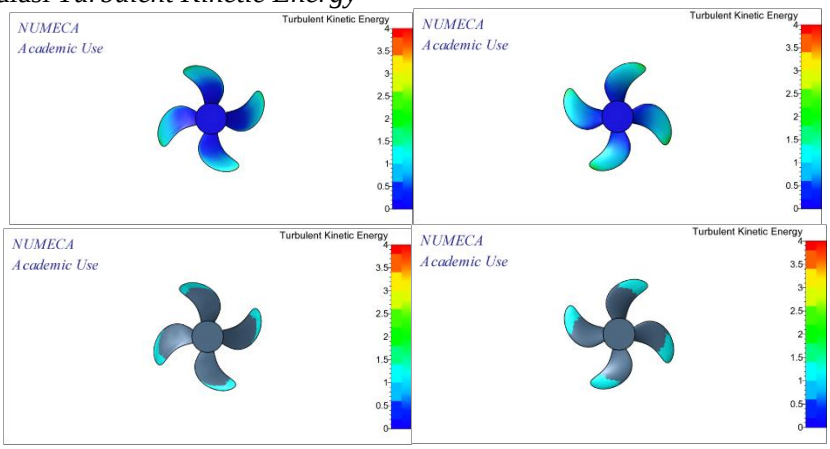


Pada J=0.8

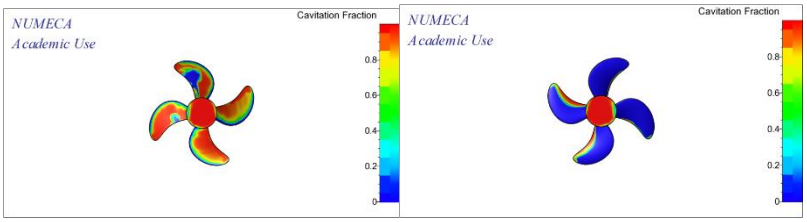
Hasil Simulasi *Pressure*



Hasil Simulasi *Turbulent Kinetic Energy*



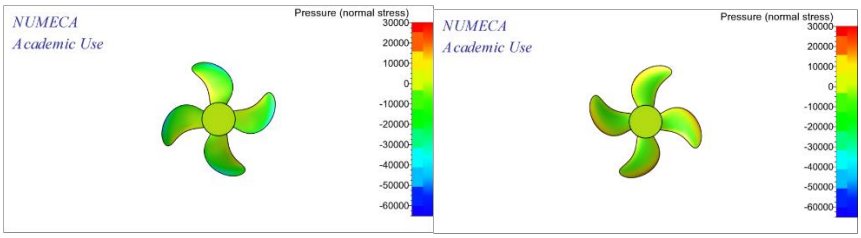
Hasil Simulasi *Cavitation*



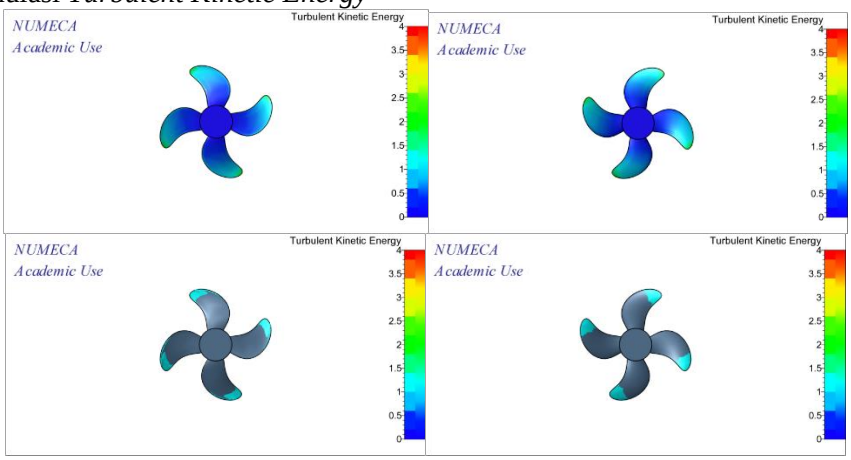
Hasil 0.8 Pitch Setting -0.8

Pada J=0.4

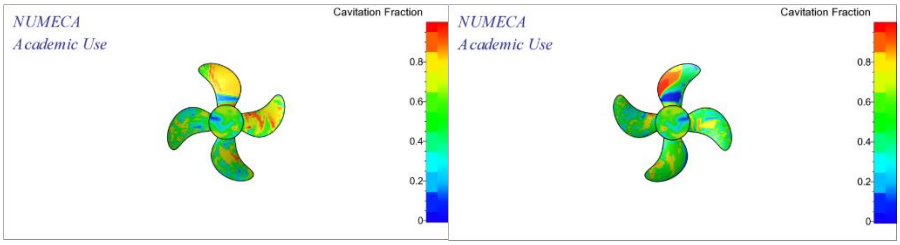
Hasil Simulasi *Pressure*



Hasil Simulasi *Turbulent Kinetic Energy*

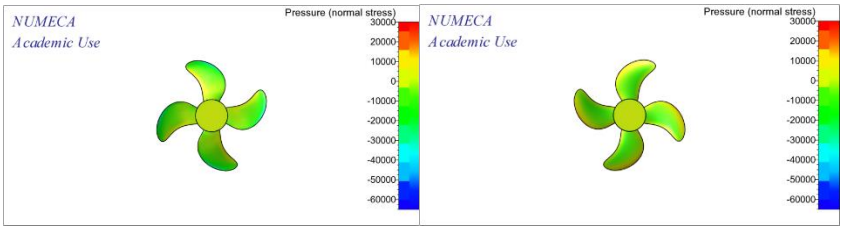


Hasil Simulasi *Cavitation*

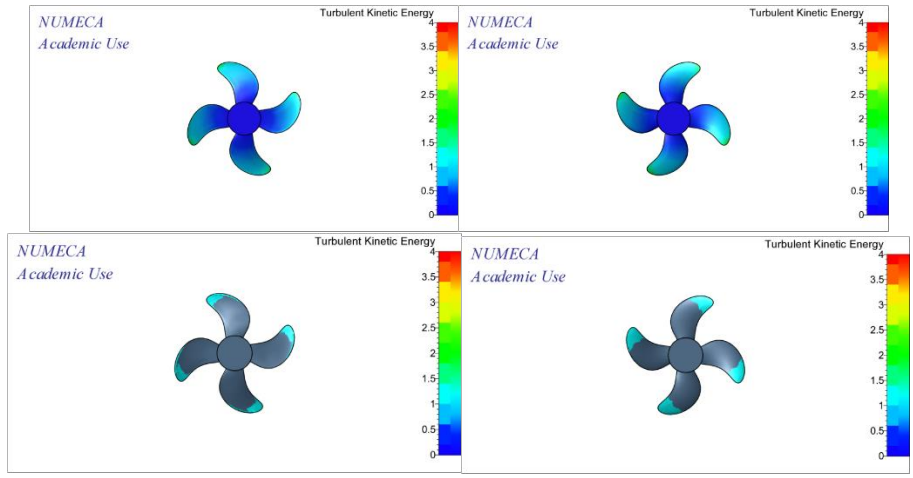


Pada J=0.6

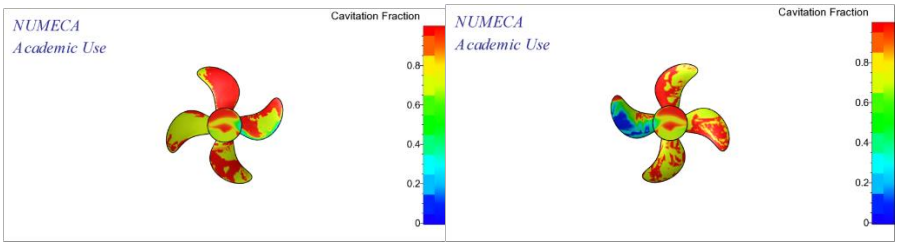
Hasil Simulasi *Pressure*



Hasil Simulasi *Turbulent Kinetic Energy*

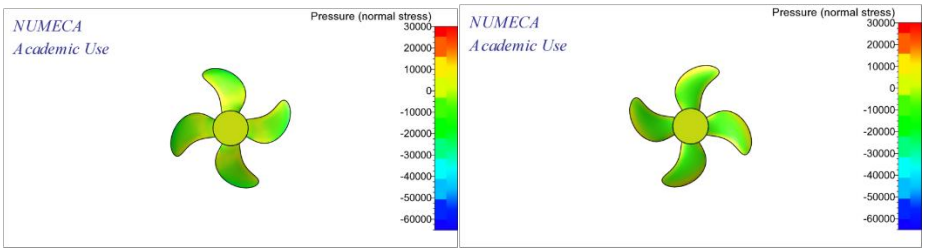


Hasil Simulasi *Cavitation*

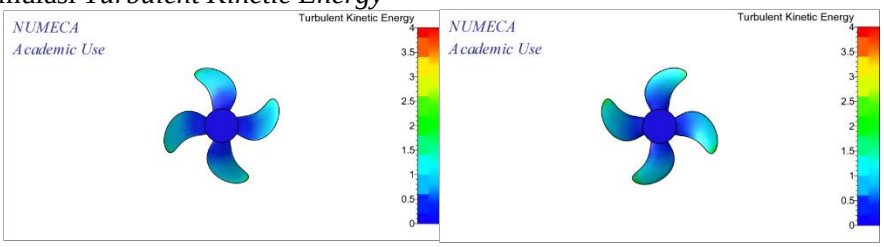


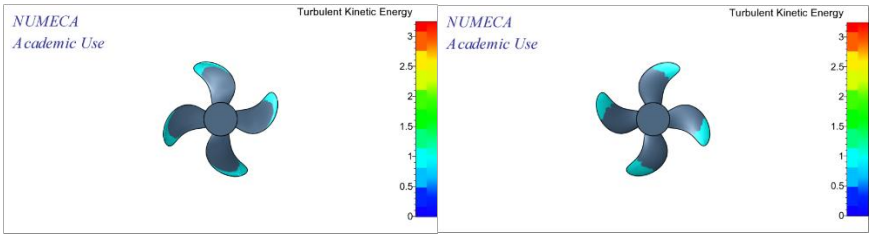
Pada J=0.8

Hasil Simulasi *Pressure*

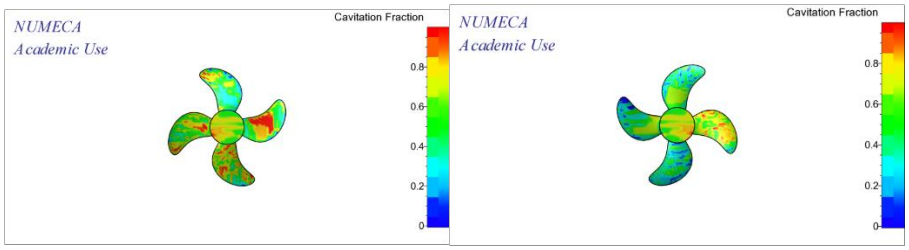


Hasil Simulasi *Turbulent Kinetic Energy*





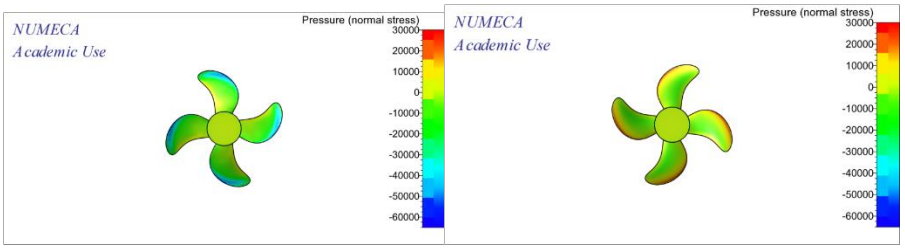
Hasil Simulasi *Cavitation*



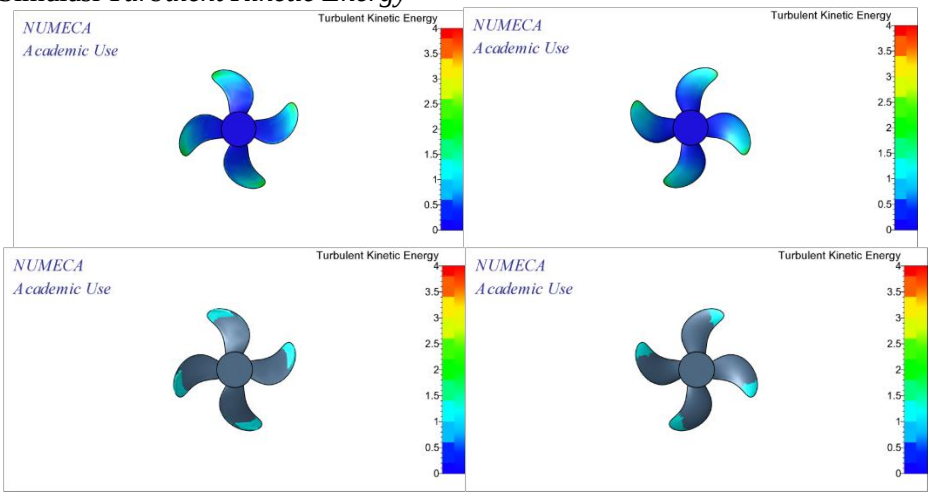
Hasil 0.8 Pitch Setting -1.0

Pada J=0.4

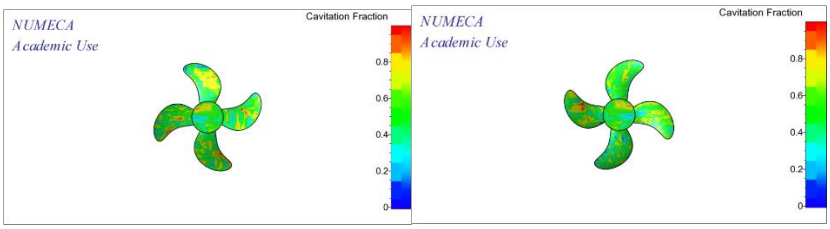
Hasil Simulasi *Pressure*



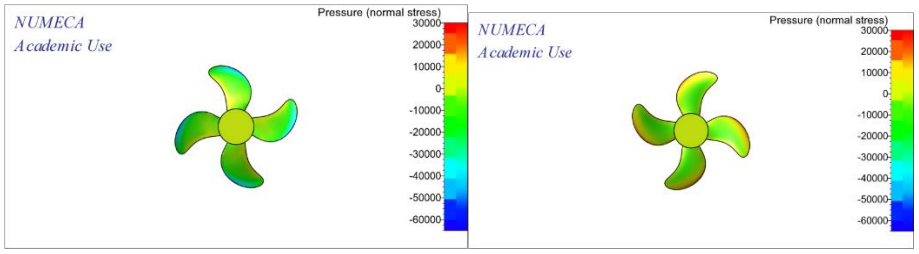
Hasil Simulasi *Turbulent Kinetic Energy*



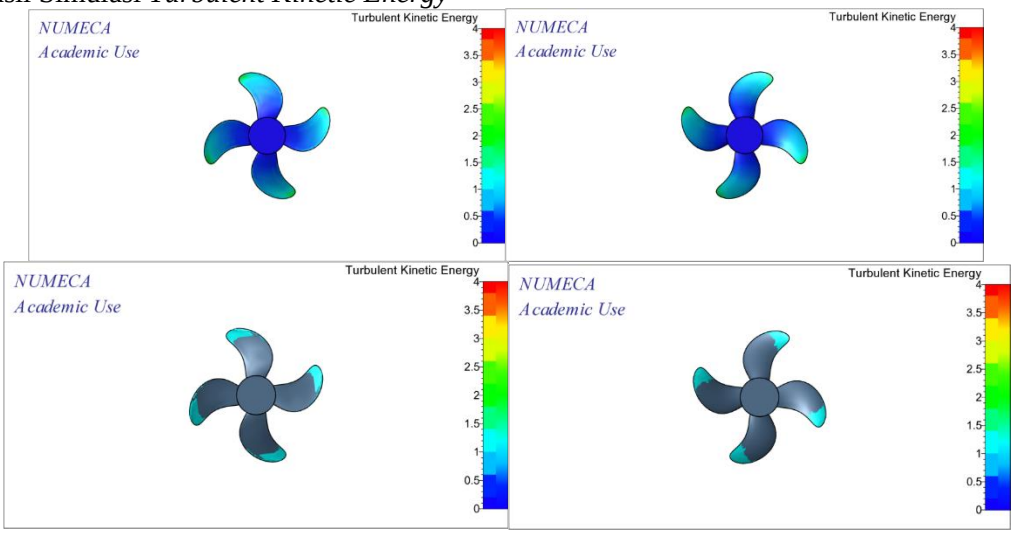
Hasil Simulasi *Cavitation*



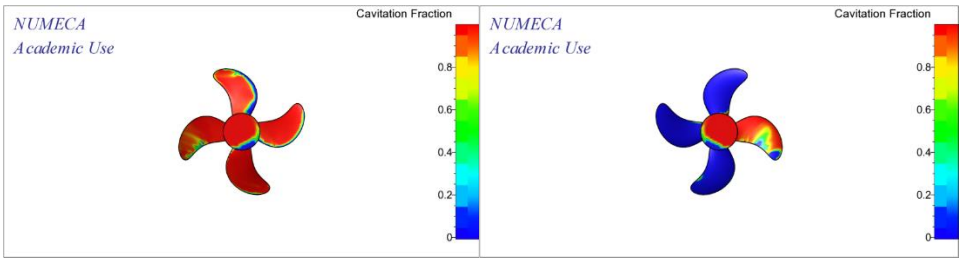
Pada J=0.6
Hasil Simulasi *Pressure*



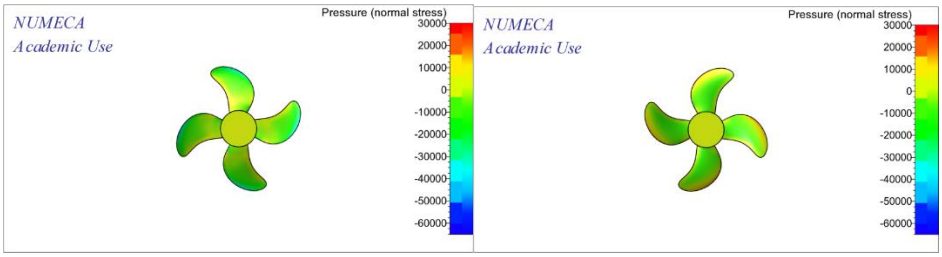
Hasil Simulasi *Turbulent Kinetic Energy*



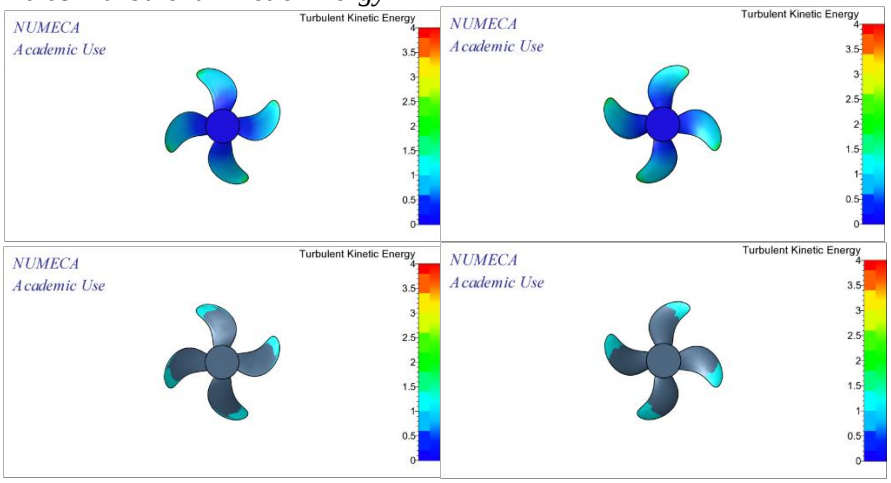
Hasil Simulasi *Cavitation*



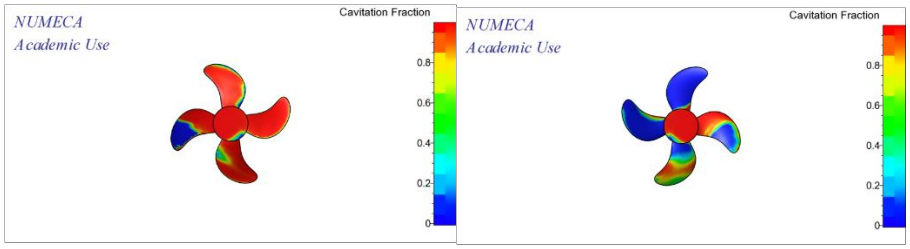
Pada J=0.8
Hasil Simulasi *Pressure*



Hasil Simulasi *Turbulent Kinetic Energy*



Hasil Simulasi *Cavitation*



BIODATA PENULIS

Penulis dilahirkan di Kebumen, Jawa Tengah pada tanggal 28 November 1994. Penulis merupakan anak empat dari lima bersaudara. Dilahirkan dengan nama lengkap Maful Suranto dengan nama orang tua Margono dan Siti Ajiah. Riwayat pendidikan dari penulis dimulai dari SD N 04 Bumirejo lulus tahun 2007, MTs N Kebumen 1 lulus tahun 2010, SMA N 1 Kebumen lulus tahun 2013, dan D-3 Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya (PPNS) lulus tahun 2016. Penulis diterima di Departemen Teknik Sistem Perkapalan – Fakultas Teknologi Kelautan – Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya melalui lintas jalur dengan nomor registrasi 04211645000003. Di jurusan Teknik Sistem Perkapalan penulis mengambil bidang studi Marine manufacturing and design (MMD) untuk menyelesaikan tugas akhir. Selama perkuliahan, penulis aktif dalam beberapa kegiatan di dalam kampus dan diluar kampus. Dalam bidang organisasi di luar kampus, penulis berkesempatan menjadi anggota dalam Perhimak Surabaya dan kegiatan di dalam kampus penulis menjadi anggota WaterCraf.