

Analisa Teknis Perancangan Turbin Pada Turbocharger Menggunakan CFD

Intan Essy Pandini , Irfan Syarif Arief

Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

Email: irfansya@its.ac.id

Abstrak— Fungsi tambahan dari Turbocharger terhadap motor yakni dapat mengurangi SFOC (Specific Fuel Oil Consumption), memperkecil getaran, serta meningkatkan efisiensi. Prinsip kerja dari turbocharger adalah gas buang dari mesin diesel dialirkan menuju gas inlet casing untuk menggerakkan turbin turbocharger, setelah turbin bergerak aliran fluida akan keluar melalui gas outlet casing. Karena turbin berputar maka shaft turbin yang telah terhubung dengan kompresor otomatis akan memutar impeller kompresor tersebut. Sehingga mengakibatkan udara luar masuk melalui air inlet casing, akibat putaran kompresor fluida gas menjadi bertekanan dan dapat mensuplay ke mesin diesel tersebut. Pada penulisan tugas akhir ini akan membahas tentang analisa teknis perancangan turbin turbocharger dengan mevariasikan nilai putaran turbin sejumlah 5000 rpm, 10000 rpm, 15000 rpm, 20000 rpm 25000 rpm dan 30000 rpm. Sedangkan mass flow rate fluida disesuaikan dengan exhaust gas mass flow rate berdasarkan kondisi engine 100%, 85%, 75 % sedangkan nilai mass flow rate sebesar 1.7 kg/s, 1.45 kg/s dan 1.28 kg/s. Jumlah blade dan diameter blade telah ditentukan dan tidak mengubah sudut setiap putaran turbin. Analisa menggunakan Computational Fluids Dynamics (CFD) dengan memasukan nilai-nilai yang telah ditentukan. Dengan menghasilkan putaran RPM ketika engine power sebesar 75% maka putaran 18944 RPM, Ketika engine power sebesar 85% maka putaran 22346 RPM., Ketika engine power sebesar 100% sebesar 26956 RPM.

Kata kunci : turbin, mass flow rate, RPM, kondisi mesin

I. PENDAHULUAN

Di negara maritim seperti Indonesia menjadikan transportasi laut seperti kapal harus dikembangkan secara baik. Hal ini bertujuan agar hubungan antar pulau tetap terjaga dan tidak ada daerah yang tertinggal oleh kemajuan zaman dan teknologi. Pada saat ini memang banyak digunakan kapal dengan penggerak berupa mesin diesel. Hal ini memang dipilih oleh pemilik kapal dikarenakan mempunyai endurance yang tinggi, perawatan yang tidak sulit dan juga biaya yang relatif murah. Mesin diesel mempunyai ukuran yang lebih memungkinkan untuk digunakan di dalam kapal dengan tenaga yang dihasilkan.

Seiring berkembangnya jaman, berbagai cara digunakan untuk meningkatkan kinerja dari mesin diesel. Misalnya dengan tenaga yang dikeluarkan sama, mesin mempunyai dimensi yang lebih kecil, hemat bahan bakar, rendah getaran, dan lainnya. hal ini kemudian memunculkan penggunaan turbocharger dalam kerja mesin diesel. Penggunaan turbocharger ini diklaim dapat meningkatkan tenaga mesin diesel hingga 40 - 60% dengan mesin yang sama dibanding tidak menggunakan turbocharger. Peningkatan daya mesin diesel dapat terpenuhi jika kedua komponen utama turbocharger bergerak dengan seimbang

seperti turbin yang berfungsi sebagai penggerak rotor shaft turbocharger akan membantu gerakan kompresor yang berfungsi sebagai menghisap udara segar yang nantinya akan membantu pembakaran pada mesin diesel tersebut sehingga menambah daya yang optimal. Selain itu manfaat yang didapatkan juga adalah penghematan bahan bakar dengan tenaga yang dikeluarkan sama sehingga efisiensi kerja dari mesin diesel meningkat. Hal ini kemudian meningkatkan penggunaan turbocharger pada mesin diesel.

II. DASAR TEORI

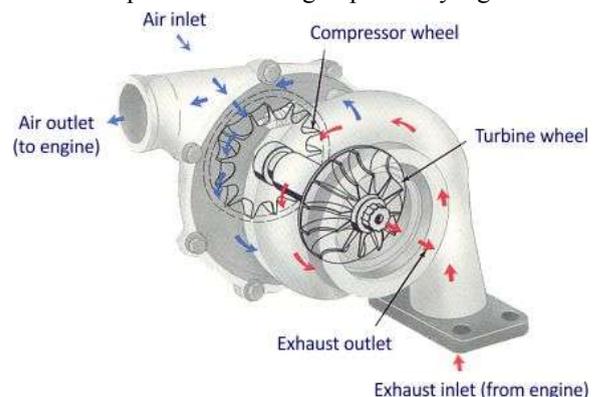
Turbocharger adalah sebuah sistem bantu yang menghasilkan oksigen yang dibawa oleh udara lebih banyak untuk menambah pembakaran dalam mesin utama. Keuntungan dari turbocharger adalah memberikan sebuah peningkatan dalam tenaga mesin hanya dengan sedikit menambah volume udara tersebut agar pembakaran yang terjadi lebih sempurna

Turbocharger pada bagian turbin terdapat dua desain aliran yang sangat berbeda yaitu aliran aksial dan aliran radial. Turbin menggunakan aliran radial biasanya di gunakan pada tipe turbin yang kecil, turbin aliran aksial di gunakan pada mesin dengan tipe *low speed* dan *medium speed*

A. Prinsip Kerja Turbin

Penggunaan turbocharger pada mesin diesel dapat meningkatkan daya efisiensi mencapai 75% dari sebelumnya sehingga penggunaan turbocharger sangat berpengaruh pada mesin tersebut. Turbocharger dalam sistem kerjanya di bagi menjadi 2 bagian yang sama-sama bekerja dalam satu sistem, sistem ini adalah bagian turbin dan kompresor yang di pasang dalam satu poros yang sama[1].

Cara kerja dari turbin bergerak karena adanya dorongan udara buang dari mesin yang mengalir melalui GIC (Gas Inlet Casing). Aliran gas buang akan di arahkan oleh Nozzle Ring yang memiliki luas sudu yang berbeda. Aliran yang udara searah akan membentur turbin blade sehingga turbin blade akan berputar sesuai dengan putaran yang ditentukan.



Putaran turbin yang di pasangan menjadi satu dengan shaft poros akan memutar poros tersebut. Putaran poros yang di jadikan satu dengan kompresor akan memutar kompresor. Udara yang berada di dalam casing akan di buang melalui GOC (Gas Outlet Casing).

Gambar 1. Flow Rate Turbochager [2]

B. Bagian Turbocharger

Turbocharger mempunyai beberapa komponen penyusun dan mempunyai fungsi masing-masing untuk menunjang kinerja dari turbocharger. Berikut ini penjelasan terkait komponen pada *turbocharger* [3]

1. Air Suction Branch
Komponen ini biasa disebut dengan kompresor chasing. Komponen ini berfungsi untuk mengarahkan aliran udara yang dihisap oleh kompresor blade. Selain itu juga berfungsi untuk melindungi putaran kompresor blade dari benda asing yang tidak diinginkan.
2. Silincer
Bagian ini berfungsi untuk menyaring udara yang disedot oleh kompresor agar udara tetap bersih dari kotoran. Silincer ini terdiri dari cover silincer dan juga saringan kecil yang terbuat dari bahan tembaga atau yang biasa disebut cooper mesh.
3. Turbin Chasing
Komponen ini berfungsi untuk melindungi turbin blade sehingga dapat berputar dengan aman. Selain itu juga berfungsi untuk mengarahkan gas buang menuju nozzle ring. Di dalam ini juga terdapat sistem cooling untuk mendinginkan turbocharger agar tidak overheating karena gas buang.
4. Bearing Housing
Komponen ini berfungsi sebagai tempat dipasangnya bearing – bearing pada rotor. Selain itu juga tempat dari oli / pelumasan pada turbocharger. Didalam bearing housing juga terdapat sistem pendinginan.
5. Rotor
Ini merupakan komponen yang berputar pada turbocharger dimana rotor terdiri dari shaft, turbin blade dan juga kompresor blade. Dimana shaft berfungsi untuk menghubungkan antara turbin dan kompresor. Turbin blade berfungsi untuk menangkan gaya yang diberikan oleh gas buang. Sedangkan kompresor blade berfungsi untuk menyedot udara.
6. Bearing set
Berfungsi untuk mengurangi gesekan yang terjadi antara rotor shaft dengan bearing housing. Turbocharger dituntut untuk berputar dengan cepat sehingga harus diminimalisir sebisa mungkin gesekan yang terjadi.
7. Kompresor

Compressor wheel pada komponen turbocharge yang berfungsi sebagai menghisap udara luar untk membantu pembakaran. Kompresor berasal dari material aluminium alloy untuk rasio kurang 4.5 Bar sedangkan dengan material titanium untuk rasio kompresi lebih dari 4.5 Bar.

8. Turbin
Dalam perkembangan sebagai main part of components turbocharge, Turbine terdiri atas 2 type yang sering digunakan. Pertama adalah type Radial Turbine, pada umumnya untuk type radial Turbine digunakan pada engine 500kW – 4900kW. Kedua adalah type axial Turbine, biasanya digunakan pada propulsor (slow – medium speed engine),selain itu pada type ini mampu memberikan suplay power pada compressor dengan kondisi low pressure ratio dengna efisiensi yang baik.



Gambar 2. Rotor shaft

9. Turbine Nozzle Ring
Nozzle Ring yang ada pada Turbine difungsikan sebagai tempat masuknya udara selanjutnya akan berexpansi dengan kecepatan tinggi berlawanan arah terhadap sudu sudu Turbine sehingga terdapat momen tangensial hingga Turbine Wheel berputar. Putaran dari Turbine tersebut akan berakibat pada ikut berputarnya Compressor.

C. Karateristik Turbin

Untuk menentukan spesifikasi turbin dan variable karateristik di perlukan titik operasi turbin karateristik dengan karateristik variabel yang digunakan pada ABB Turbo Sistem [4] adalah

- 1.Rasio ekspansi tekanan turbin

$$P_p = P'_{TE} / P_{TA}$$

P_p = Ekspansi rasio tekanan

P'_{TE} = Tekanan Outlet

P_{TA} = Tekanan Inlet

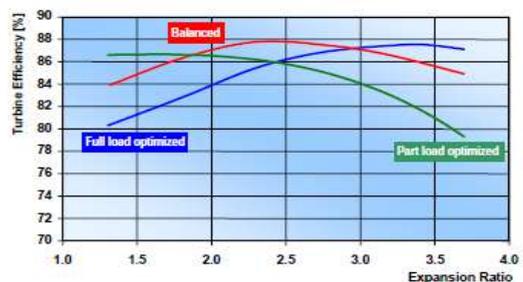
- 2.Effisiensi energy Turbin

$$\Pi_E = \epsilon_{TE} / \epsilon_{TA}$$

Π_E = Effisiensi Energi

ϵ_{TE} = Energi Outlet

ϵ_{TA} = Energi Inlet



Gambar 3. Effisiensi turbin dengan rasio tekanan turbin [5]

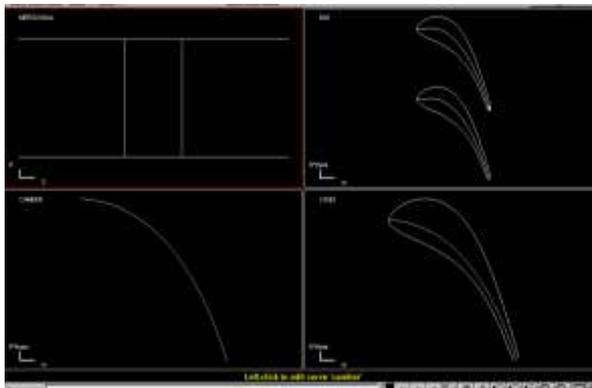
III. METODOLOGI

Metode yang Digunakan untuk menyelesaikan permasalahan dalam penelitian ini, metode yang digunakan adalah dengan pendekatan *Computational Fluid Dynamics* (CFD). Perangkat lunak yang digunakan adalah NUMECA FINETM/Marine v2. Hal awal yang akan dilakukan untuk menggunakan software ini adalah menentukan model turbin tersebut dengan ukuran dan jumlah blade turbin.

IV. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

A. Penggambaran Model Turbin

Pada tahap ini adalah menggambar model turbin blade dengan memasukan nilai data blade seperti diameter, lebar dan tinggi blade. Penggambaran ini dilakukan pada software numeca bagian autograde. Gambar dari hasil pembuatan blade turbin turbocharger dapat di lihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 4. Koordinat Model Turbin

B. Pengaturan *Computational Fluid Dynamic*

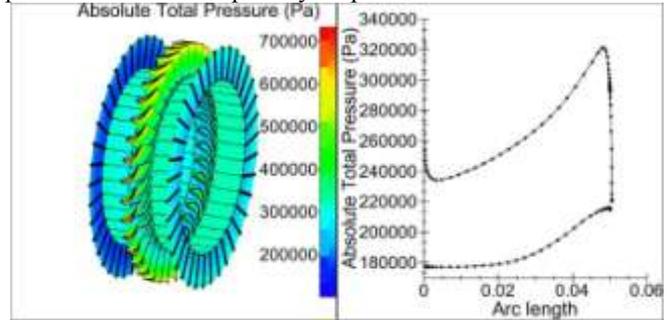
Setelah menggambar model turbin blade yang telah di ekport pada geom digunakan untuk meshing. Pada tahap meshing ini, putaran turbin diubah terlebih dahulu menjadi stator meski kondisi turbin pada turbocharger adalah rotor. Perubahan ini guna untuk dilakukan running. Setelah mengubah pada kondisi rotor maka nilai-nilai tip hub pada turbin diubah menjadi 0.004. setelah proses meshing yang menggunakan fine turbo modul autogrid 5 selesai maka modul yang berada di fine turbo 9.1-3 diubah kedalam fine turbo. Gambar dibawah ini adalah hasil setelah proses meshing pada model yang telah dibuat



Gambar 5 Model meshing turbin

C. Simulasi Model

Gambar yang telah dimeshing akan di lanjutkan dengan menggunakan fine Turbo Numeca. Dengan memasukan parameter yang diperlukan seperti mengubah aliran fluida, mass flow rate, temperature dan putaran turbin yang divariasikan. Sebelum melakukan running data yang dimasukan juga merubah gambar yang di dalam autogrid adalah stator diubah menjadi rotor. Data-data yang diperlukan ada dimasukan pada set boundary condition dengan mengubah parameter inlet dan outlet. Dalam running turbocharger nilai inlet dan outlate turbocharger adalah sama. Dapat berselisih akan tetapi hanya diperbolehkan sebesar 5%.



Gambar 6 Runing Turbin

D. Analisa Kompresor

Dengan perubahan RPM, kondisi *exhaust engine* dan *mass flow rate* maka hasil yang didapat setelah simulasi sebagai berikut

Tabel 1. Hasil pada kondisi *engine* 75%

RPM	5000	10000	15000	20000	25000	30000
Pin (Pa)	203500	201500	196500	191500	189900	178000
Pout (Pa)	203300	204000	215500	235000	238000	350000
Tin (°K)	727	727	727	727	727	727
Tout (°K)	26	732	748	792	810	920
Ein (Joule/kg)	533000	533000	533000	533000	533000	533000
Eout (Joule/kg)	532500	538000	568800	605750	655000	735000
Absolute Kinetik (Joule)	7222.53	23893.2	51281.1	91659.8	143882	209825

Table 2. Hasil pada kondisi *engine* 85%

RPM	5000	10000	15000	20000	25000	30000
Pin (Pa)	204800	202500	198800	1.50E+06	180000	175000
Pout (Pa)	203500	209800	210500	2.00E+06	230000	265000
Tin (°K)	707	707	707	707	707	707
Tout (°K)	706	722	728	1050	800	875
Ein (Joule/kg)	514200	514200	514200	514200	514200	514200
Eout (Joule/kg)	513100	528000	545000	575000	620000	685000
Absolute Kinetik (Joule)	7524.21	23898.8	51236.6	95200	145451	212147

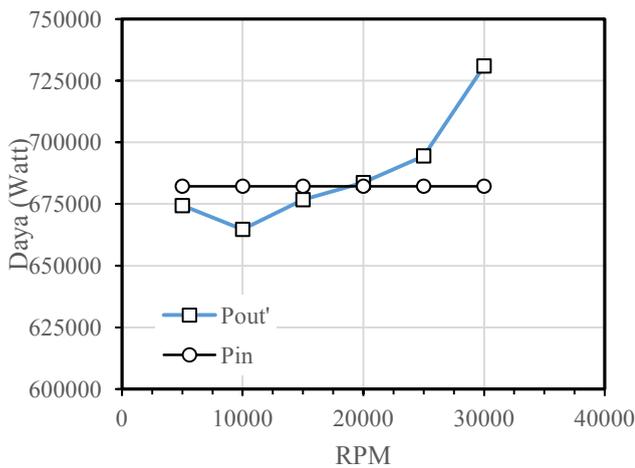
Table 3. Hasil pada kondisi *engine* 100%

RPM	5000	10000	15000	20000	25000	30000
Pin (Pa)	247500	204000	195500	198000	200000	185000
Pout (Pa)	246200	205000	202000	215000	230000	265000
Tin (°K)	717	717	717	717	717	717

T_{out} (°K)	718	720	740	765	800	875
ϵ_{in} (Joule/kg)	524000	524000	524000	524000	524000	524000
ϵ_{out} (Joule/kg)	525000	530000	550000	570000	595000	677000
Absolute Kinetik (Joule)	7452.16	24428.8	61676.3	94472.9	149975	214551

Hasil yang telah diperoleh akan diolah menjadi grafik perbandingan energi yang keluar dari turbin dengan putaran pada setiap kondisi *engine*. Seperti grafik dibawah ini

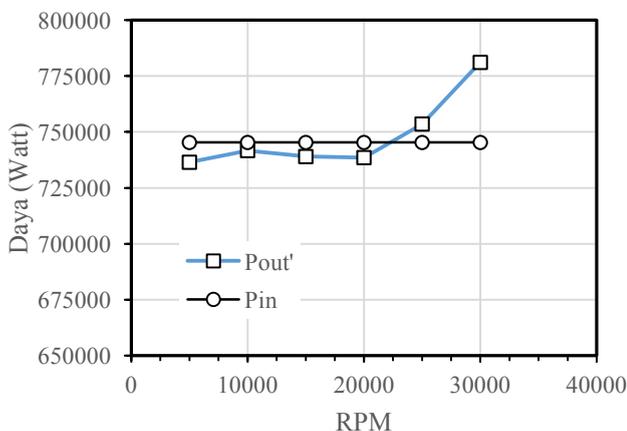
1. Perbandingan *energy out turbine* dengan putaran turbin dalam kondisi *engine* 75%



Gambar 7 Perbandingan daya dengan putaran turbin kondisi *engine* 75%

Yang harus diperhatikan pada gambar 7 tersebut dapat terlihat bahwa nilai ϵ_{out} lebih dari ϵ_{in} pada putaran 20000 RPM dan mulai di bawah ϵ_{in} pada 15000 RPM. Analisa pada nilai ϵ_{out} yang lebih dari ϵ_{in} adalah pada sistem tersebut belum tepat pada keadaan realita karena nilai ϵ_{out} seharusnya maksimal adalah sama dengan nilai ϵ_{in} . Pertemuan antara ϵ_{out} dengan ϵ_{in} pada grafik jika ditarik menuju axis maka akan mendapatkan nilai RPM pada kondisi yang sesungguhnya yang bernilai 18944 RPM

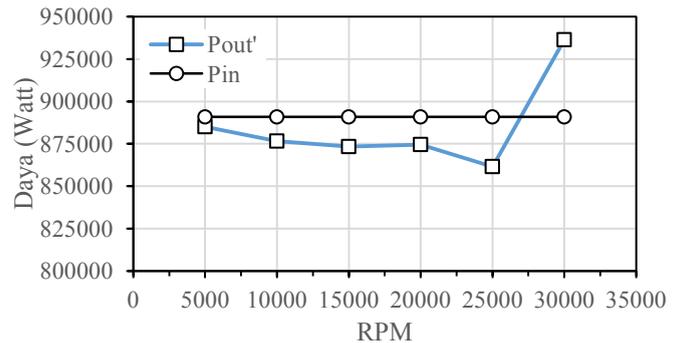
2. Perbandingan *energy out turbine* dengan putaran turbin dalam kondisi *engine* 85%



Gambar 8 Perbandingan daya dengan putaran turbin kondisi *engine* 85%

Yang harus diperhatikan pada gambar 8 tersebut dapat terlihat bahwa nilai ϵ_{out} lebih dari ϵ_{in} pada putaran 25000 RPM dan mulai di bawah ϵ_{in} pada 20000 RPM. Analisa pada nilai ϵ_{out} yang lebih dari ϵ_{in} adalah pada sistem tersebut belum tepat pada keadaan realita karena nilai ϵ_{out} seharusnya maksimal adalah sama dengan nilai ϵ_{in} . Pertemuan antara ϵ_{out} dengan ϵ_{in} pada grafik jika ditarik menuju axis maka akan mendapatkan nilai RPM pada kondisi yang sesungguhnya yang bernilai 22346 RPM

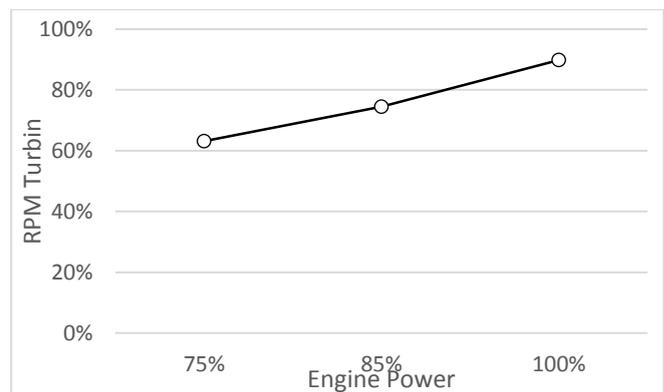
3. Perbandingan *energy out turbine* dengan putaran turbin dalam kondisi *engine* 100%



Gambar 9. Perbandingan *energy out turbine* dengan putaran turbin dalam kondisi *engine* 100%

Yang harus diperhatikan pada gambar 9 tersebut dapat terlihat bahwa nilai ϵ_{out} lebih dari ϵ_{in} pada putaran 30000RPM dan mulai di bawah ϵ_{in} pada 25000 RPM. Analisa pada nilai ϵ_{out} yang lebih dari ϵ_{in} adalah pada sistem tersebut belum tepat pada keadaan realita karena nilai ϵ_{out} seharusnya maksimal adalah sama dengan nilai ϵ_{in} . Pertemuan antara ϵ_{out} dengan ϵ_{in} pada grafik jika ditarik menuju axis maka akan mendapatkan nilai RPM pada kondisi yang sesungguhnya yang bernilai 26956 RPM

4. Perbandingan *engine power* dengan putaran turbin



Gambar 10. Perbandingan *engine power* dengan putaran turbin

Gambar di atas menunjukkan bahwa ketika *engine power* sebesar 75% maka putaran yang dihasilkan adalah sebesar 63%. Dan pada *engine power* 85% maka putaran *engine* sebesar 74% dan seterusnya. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin besar *engine power* maka putaran dari turbin akan semakin cepat.

V. KESIMPULAN

Dari hasil simulasi dan analisa data yang telah dilakukan, maka penulis dapat menarik beberapa kesimpulan yaitu :

1. Ketika engine power sebesar 75% maka putaran pada keadaan sesungguhnya adalah sebesar 18944 RPM.
2. Ketika engine power sebesar 85% maka putaran pada keadaan sesungguhnya adalah sebesar 22346 RPM.
3. Ketika engine power sebesar 100% maka putaran pada keadaan sesungguhnya adalah sebesar 26956 RPM.
4. Semakin besarnya engine power maka akan semakin cepat putaran turbin yang dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Schieman, J (1995) Turbocharger compressor, Turbo magazine, Issue no. I, Vol 1.
- [2] [//www.dieselnet.com//turbocharger/prinsipkerja](http://www.dieselnet.com/turbocharger/prinsipkerja)
- [3] Kerja pratek, PT Turboned Indonesia, (2015)
- [4] Hamid, K(2005), Selection and matching turbocharger to large propulsion diesel engine performance, March 2005
- [5] MAN B&W Turbocharger, Electronic support system, (2004), and MAN B&W Diesel AG, TCA Turbocharger, Project Guide.