

# Perencanaan Simulasi Pengaturan Pembangkitan Daya Pada Kapal Fast Patrol Boat 60 M dengan Propulsi Hybrid

Fikri N. Muzakki, Eddy S. Koenhardono, dan Adi Kurniawan.

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

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

*e-mail: koenhardono@gmail.com*

**Abstrak**—Sistem propulsi hybrid yang memberikan berbagai keuntungan untuk pengoperasian kapal, seperti pertimbangan konsumsi bahan bakar yang rendah, pengaturan kecepatan dengan penggunaan propulsi yang optimal ataupun khusus untuk jenis kapal tertentu. Tentunya sistem propulsi hybrid memiliki kelamahan pula, salah satunya adalah pengaturan pembangkitan daya yang kompleks dibandingkan dengan system propulsi lain. Setiap kecepatan membutuhkan daya yang berbeda dan bahan bakar yang berbeda pula. Keputusan yang kurang tepat dapat mengurangi keunggulan dari pemasangan sistem propulsi hybrid. Oleh karena itu dibutuhkan *Decision Support System* untuk membantu nahkoda menentukan pengaturan propulsi yang optimal pada kecepatan yang diinginkan dan pada kondisi yang ada pada perairan yang dilalui. Dalam makalah ini dibuat *Decision Support System* dengan input utama berupa kecepatan dalam knot, *service margin*, dan kebutuhan listrik. Kecepatan dan *service margin* digunakan untuk menentukan kebutuhan tenaga penggerak dan selanjutnya digunakan untuk analisa alat penggerak. Untuk digunakan referensi nahkoda dapat memilih propulsi yang optimal dengan konsumsi bahan bakar yang minimum, dan dengan jumlah daya yang diperlukan untuk pengoperasian tersebut. Berdasarkan hasil simulasi penggunaan *Decision Support System* pada kapal Fast Patrol Boat 60 m ini menunjukkan pemakaian terbaik pada kecepatan 20 knot dengan menggunakan sistem *Shaft Generator* pada daya 1181 kW disertai pengoperasian genset pada daya 0 kW dan jumlah pemakaian bahan bakar 482,99 kg per jam.

**Kata Kunci**—*Bahan Bakar, Decision Support System, Fast Patrol Boat 60 M, Propulsi Hybrid.*

## I. PENDAHULUAN

**P**ATROLI pengawasan perairan merupakan hal yang penting dalam menjaga kedaulatan wilayah perairan, terutama bagi negara dengan wilayah perairan yang luas dan kaya sumber daya alam akan memerlukan kegiatan patroli pengawasan yang intensif untuk mencegah kapal asing masuk maupun keluar untuk melakukan pencurian, dan penyelundupan. Dalam hal patrol disamping persenjataan dan perlengkapan yang baik, hal yang perlu diperhatikan adalah kecepatan kapal. Kecepatan yang tinggi diperlukan untuk pengejaran, agar kapal yang terdapat melaut masuk melewati batas wilayah dapat terkejar. Kondisi patrol normal tidak membutuhkan kecepatan secara signifikan, dan untuk menjaga penggunaan bahan bakar, kapal akan dioperasikan pada kecepatan rendah.

Jenis propulsi kapal semakin beragam sesuai perkembangan teknologi, dengan berbagai pertimbangan yang utamanya merujuk pada kepentingan dan pada penurunan kebutuhan tenaga (bahan bakar). Pada kapal yang menggunakan sistem propulsi mekanis (*Diesel Mechanical Propulsion*) kondisi tersebut membuat kebutuhan operasi yang tinggi. Hal ini disebabkan pengoperasian motor diesel pada beban yang rendah lebih boros bahan bakar namun akan lebih ekonomis untuk penggunaan pada kecepatan penuh, dikarenakan efisiensi untuk motor diesel masih merupakan efisiensi terbaik untuk motor bakar pada kondisi saat ini, system ini lebih memberikan keuntungan pada saat kondisi pengejaran.

Pada saat pengoperasian kapal patroli, kecepatan akan diatur sesuai kondisi kegiatan yang dilaksanakan kapal dan kondisi laut yang akan berubah-ubah pada waktu tersebut, contohnya saat ombak sedang dan tinggi akan memiliki nilai beban kapal yang berbeda. Pengaturan kecepatan merupakan nilai positif untuk system penggerak elektrik (*Diesel Electrical Propulsion*) karena dapat diatur dengan daya yang dibutuhkan pada kondisi perairan yang berubah untuk kecepatan yang diinginkan.

Sistem propulsi *Hybrid* dibuat untuk memaksimalkan potensi dari masing-masing jenis penggerak. untuk perairan yang luas milik Indonesia, penggunaan penggerak akan dipertimbangkan untuk segi ekonomis karena daerah patrol yang luas akan membuat biaya pengoperasian tinggi. Sehingga konsep *hybrid* akan dipakai sebagaimana saat kapal kondisi operasi normal akan menggunakan DEP untuk pengaturan yang baik dan efisiensi pada kecepatan rendah, penggunaan motor elektik akan menggunakan motor DC. Dan penggunaan DMP untuk kondisi pengejaran yang lebih mengguntungkan untuk kerja maksimal dan daya besar.

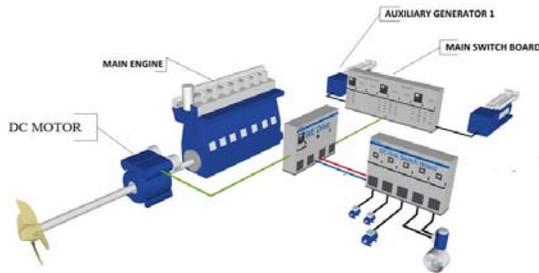
Permasalahan pada sebuah kapal yang menggunakan sistem propulsi *hybrid* adalah penggabungan pembangkitan daya yang optimum pada kondisi beban yang berbeda. Oleh karena itu, pada tugas akhir ini akan membuat *Decision Support System* pengaturan pembangkitan daya pada kapal *fast patrol* 60 m.

Penggunaan sistem propulsi *hybrid* diharapkan akan memaksimalkan penggunaan bahan bakar, dan membagi kebutuhan yang tepat akan penggunaan baik DEP maupun DMP, yang mana kombinasi keduanya akan menunjukkan peningkatan efisiensi akan penggunaan bahan bakar pada kapal fast patrol nantinya.

Permasalahan yang akan dianalisis adalah proporsi yang tepat untuk menggunakan sistem yang tepat pada propulsi kapal Patroli 60 m tentang kebutuhan daya untuk setiap kecepatan pada saat patroli dan distribusi sumber daya pada setiap kecepatan pada saat patroli.

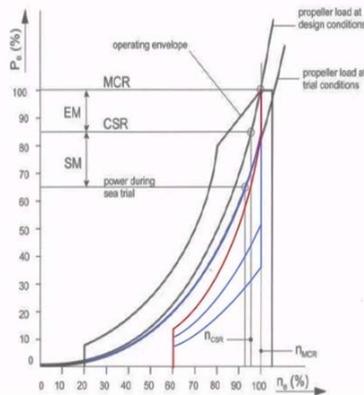
Pemilihan sistem propulsi adalah salah satu pertimbangan dasar dalam merancang sebuah kapal. Keputusan merancang sistem propulsi DMP ataupun DEP menjadi sangat sulit untuk memuaskan dan mencapai semua kebutuhan secara simultan. Bagaimanapun harus dibuat sebuah design dari sistem yang paling optimal yang memiliki sebanyak mungkin faktor-faktor yang menguntungkan [1].

Desain dari hybrid ini bermacam macam, seperti Gambar 1 berikut :



Gambar 1. Gambar desain propulsi hybrid[2].

Motor diesel adalah salah satu motor bakar dalam yang memiliki tingkat efisiensi tenaga tertinggi dibandingkan dengan motor bakar lain, yang semakin naik untuk setiap persentase tenaga yang dipakai seperti Gambar 2 mengenai efisiensi dengan tenaga



Gambar 2. Grafik performa motor diesel [3].

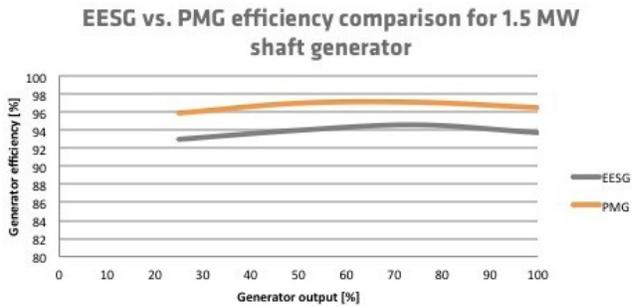
Hal ini dikarenakan sistem kerja motor diesel dengan menggantungkan kompresi udara, semakin tinggi persentase tenaga yang digunakan maka tekanan dari kompresi akan semakin maksimal, sehingga tingkat efisiensi naik.

Koneksi elektrik antara generator dan motor listrik dapat dirancang dan diinstalasi lebih bebas, tidak seperti pada sistem penggerak mekanik, penggerak utama beserta generatonya dapat diletakkan dimanapun diminta dan berbentuk secara mekanis berupa engine generator set.

Propulsion genset dapat digunakan sebagai sumber power untuk peralatan yang lain apabila tidak digunakan

untuk menggerakkan propulsor, antara lain digunakan untuk *fire fighting, refrigerating, machine gun, rocket louncher*, dan lain-lain yang berupa supplemental service[4].

Permanent Magnet Generator adalah sistem generator yang menggunakan motor DC dengan magnet permanen pada rotor untuk menguragi rugi untuk menghasilkan medan daya. sehingga mengurangi nilai pemaikan listrik untuk eksitasi pada motor/generator sinkron maupun asinkron pada umumnya. Nilai efisiensi akan ditunjukkan pada Gambar 3



berikut :

Gambar 3. Grafik perbandingan efisiensi Permanent Magnet Generator terhadap Eletrically Excited Synchronous Generator (*the switch*, 2006)

Sistem Shaft Generator memanfaatkan kinerja motor diesel untuk menompang beban dari generator set yang biasa dipakai dengan motor listrik yang tersambung dengan poros motor diesel, karena sebagaimana prinsipnya motor listrik dapat bekerja pula sebagai generator yang merujuk pada kesamaan konstruksi[3].

*Power take in* atau PTI adalah system masuknya daya ke sistem propulsi kapal dari genset melalui motor listrik yang terhubung pada shaft, sistem ini digunakan selain untuk menggerakkan propulsi secara mandiri, juga dapat digunakan sebagai sistem *boosting* untuk penambah daya pada penggerak diesel demi menambah kecepatan tanpa memasang mesin dengan daya yang lebih besar.

*Power take out* atau PTO, berkebalikan dengan PTI, system ini memanfaatkan daya berlebih dari mesin diesel kepada generator untuk membantu suplai listrik di kapal. Dikarenakan mesin diesel akan memiliki efisiensi bahan bakar tinggi saat pada daya 85% [3] maka system ini dipilih saat kapal pada kecepatan yang membutuhkan mesin diesel daya rendah, untuk memaksimalkan efisiensi daya dari mesin diesel dioperasikan pada daya tinggi yang sebagian dayanya di konversi ke daya listrik.

Pengertian *Decision Support System* dalam hal manajemen pembangkitan daya di kapal ini adalah suatu program computer yang bertujuan untuk membantu menganalisa suatu kebutuhan kapal dalam hal pembangkitan daya untuk penggerak utama dan sebagai pembangkit daya penunjang operasional kapal, serta emnyediakan informasi yang bersifat sebagai pertimbangan dalam pengambilan keputusan.

DSS bukanlah sebagai pengambil keputusan, namun hanya sebagai alat bantu untuk nahkoda dalam mengambil keputusan

yang dianggap terbaik dalam kondisi pelayaran yang diinginkan dengan pertimbangan ekonomi pemakaian bahan bakar. Secara fundamental terdapat 3 komponen dari DSS yaitu *Database Management System (DBMS)* yang berisi tentang data-data penting yang diperlukan sebagai perhitungan dan pertimbangan dalam DSS. *Model-based Management System (MBMS)* data atau proses yang terdapat secara independen dan tidak bergantung pada situasi dan data yang diperlukan. Dan *Dialog Generation and Management System (DGMS)* yang merupakan produk utama dari DSS itu sendiri. [5].

II. METODE PENELITIAN

Pengerjaan makalah ini dimuali dengan pengumpulan data-data kapal dan pengumpulan literatur untuk proses perhitungan mengenai propulsi kapal. Data utama kapal di proses untuk memperoleh nilai tahanan pada tingkat kecepatan dengan jangka dari 1 knot hiingga 30. Nilai berikutnya adalah *service margin* yang digunakan sebagai faktor pengali untuk nilai tahanan. Nilai tahanan diproses secara perhitungan untuk memperoleh nilai daya yang digunakan pada kecepatan pengejaran, kecepatan patroli, dan kecepatan penjelajahan untuk menentukan kebutuhan mesin penggerak untuk ketiga sistem. Penyusunan program simulasi dibuat dengan susunan untuk menghitung penghubungan antara propeller dan kapal yang berbeda saat merubah nilai kecepatan dan *service margin*. Dengan menentukan nilai daya dan putaran yang dibutuhkan oleh propeller, ditentukan sistem penggerak yang tersedia atau memiliki kapasitas untuk menunjang tenaga pada kondisi tersebut. Perhitungan kebutuhan listrik digunakan sebagai perhitungan dalam penggunaan genset untuk sistem konvensional dan sistem elektrik. Sistem *Shaft Generator* dirancang untuk memenuhi kebutuhan listrik tersebut. Dengan menggunakan data daya dan putaran, dihubungkan dengan data *Single Fuel Oil Consumption (SFOC)* pada sistemnya dalam menentukan jumlah kebutuhan bahan bakar yang dipakai perjamnya.

III. ANALISA DATA DAN DISKUSI

FPB 60 m merupakan kapal cepat berpengerak propulsi sendiri yang digunakan untuk patroli sehingga konstruksi kapal ini berbentuk lambung V. Data FPB 60 yang digunakan untuk dalam penyusunan program simulasi pembangkitan daya pada kapal Fast Patrol ditunjukkan pada Tabel 1 berikut :

Dari data yang diproses nilai tahanan dan daya akan tersedia. Dengan desain yang dimasukkan kedalam software komputer yang ditunjukkan pada Gambar 6 sesuai data umum, maka didapat nilai tahanan kapal untuk FPB 60 m berdasarkan variasi kecepatan yang diilustrasikan oleh Gambar 7.

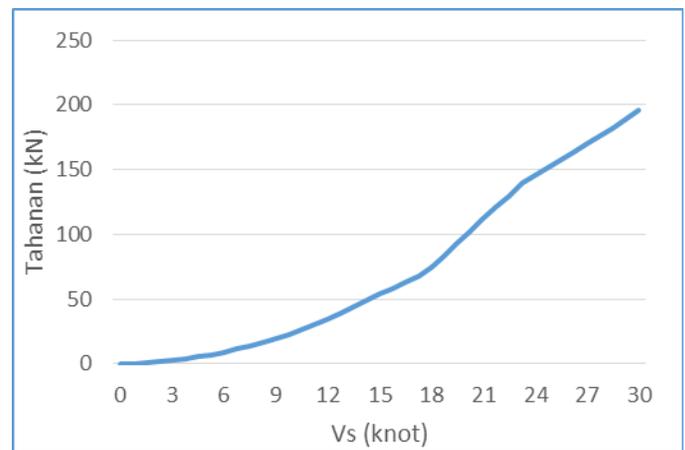
Tabel 1.Data Umum Kapal Fast Patrol Boat 60 M

Length Over All (LOA)	60,32	meter
Length Water Line (LWL)	55,82	meter
Breadth	8,37	meter
Height	5,09	meter
Draft	2,00	meter

Displacement	291,5	ton
--------------	-------	-----

Tabel 3. Tabel Komponen Fast Patrol Boat 60 M

No	Komponen	Merk
1	Main Diesel	MTU 16V 4000 M90 2720/2100 kW/rpm 2 buah
2	Motor Listrik	PMM/G the Switch 550/1500 kW/rpm 2 buah
3	Generator/ Auxillary Engine	Scania genset sg600 DC 1649A 440 kW 4 (+ 1) buah
4	Converter	PFC the Switch 1000 kW 2 buah
5	Gearbox	ZF 7600 1:1.486 4 buah
6	Propeller	B5-90 HS-series 1.308 m 2 buah



Gambar 7. Grafik Nilai Tahanan FPB 60 M dengan SM 1.1

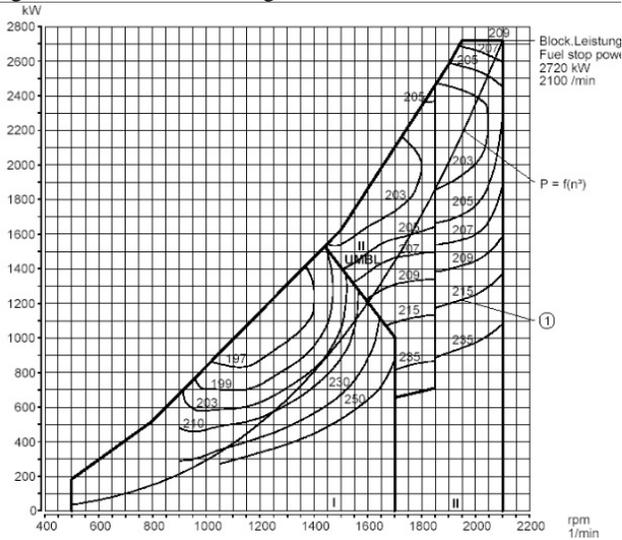
Dengan pertimbangan desain perencanaan dan data kapal diatas dan pertimbangan untuk factor efisiensi dari diesel engine senilai 90% ( $2720 \times 0.9 = 2448$  kW) dan untuk memenuhi putaran yang tepat dengan perhitungan, serta untuk pertimbangan motor listrik yang dapat memenuhi kebutuhan maksimal dari akomodasi listrik maka akan dipilih sistem permesinan untuk kapal fast patrol boat sebagai berikut pada Tabel 2

Tabel 2. Data Operasi Motor Diesel Kapal FPB 60 M pada SM 1.1

Operasi Kapal	pengintaian	patroli	pengejaran
kecepatan (knot)	17	21	29
BHP (kW)(x2)	492	1069	2276
RPM engine	1117	1424	1875

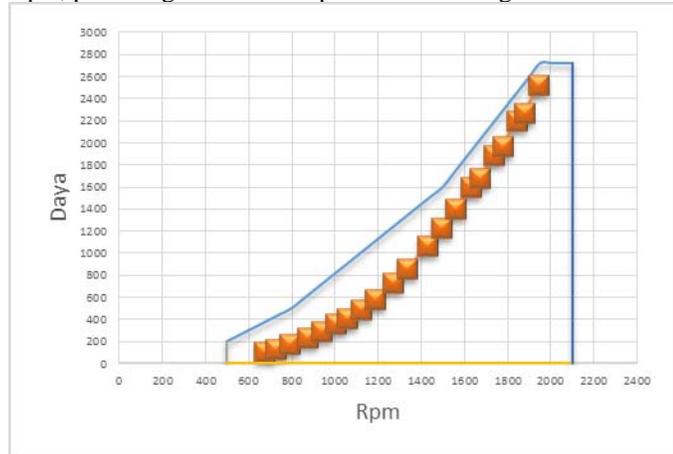
Proses selanjutnya pemetaan tentang ketersediaan daya yang dianalisa sesuai *engine envelope* yaitu pada MTU 16v 4000 M90 dengan menyetarakan nilai konsumsi bahan bakar pada setiap kondisi kerja mesin. Karena pada mesin diesel nilai konsumsi bahan bakar (SFOC) akan bervariasi tergantung daya dan putaran yang dikeluarkan, performa dari mesin diesel dapat dilihat pada Gambar 9. Gambar 9 menunjukkan titik-titik kerja maksimal untuk memperoleh

nilai konsumsi bahan bakar minimal. Dengan menaikkan tingkat daya pada titik putaran yang sama, yaitu dengan menambah beban mesin diesel sebelum disalurkan ke propeller dengan cara menambahkan *shaft generator* dengan system PTO untuk dimanfaatkan sebagai penompang kebutuhan listrik akomodasi, diharapkan dengan pemakaian *shaft generator* dapat mengganti pemakaian generator dari *auxillary engine* dan mendapatkan konsumsi bahan bakar yang lebih rendah dibandingkan memakai model mekanis.



Gambar. 9. Performa Mesin Diesel [6]

Dengan beberapa data diatas akan dilakukan *matching* pada propulsi FPB 60, di rencanakan dengan mesin diesel MTU 16V 4000 90M akan mampu untuk memenuhi kebutuhan hingga kecepatan 29 knot. Yang mana dipasang pula gear box ZF 7600 dengan rasio 1:486 pada lokasi setelah poros mesin keluar atau sebelum terhubung dengan motor listrik dan setelah motor listrik untuk penyesuaian putaran propeller yang tepat, perhitungan dilakukan pada service margin sebesar 1.1



Gambar 10. Engine propeller matching pada kecepatan 10-30 knot dengan SM 1.1

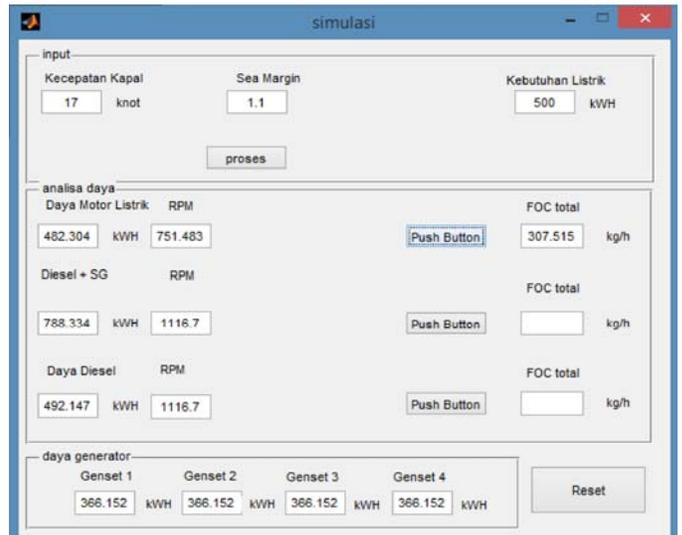
Gambar 10 menunjukkan grafik daya yang dibutuhkan untuk memperoleh kecepatan dari 10 knot hingga 30 knot pada SM 1.1 dengan penggunaan motor diesel MTU 16V 4000 90M sebagaimana nilai tersebut masuk kedalam *engine envelope*.

A. Desain Interface DSS FPB 60 M

Bagian akhir mengenai DSS adalah desain interface yang sederhana dan mudah untuk dimengerti dan dioperasikan. Desain dari DSS tersedia input dan output yang dicantumkan dalam satu halaman dan tertata secara berurutan agar memudahkan pembedaan, sehingga membantu pengguna memahami langkah kerja DSS ini.

Dengan pencantuman untuk ketersediaan system setelah ke 3 input di masukkan dan di proses, setelah itu dapat di pilih proses berikutnya untuk mengetahui jumlah konsumsi bahan bakar untuk system yang diinginkan serta daya yang dioperasikan oleh genset.

1. Mode Elektris adalah mode dimana FPB digerakkan oleh motor listrik dan dengan daya yang diplai sepenuhnya oleh genset, nilai dari konsumsi bahan bakar akan merujuk kepada project guide pada genset yang dipakai
2. Mode Shaft generator adalah mode dimana FPB akan bergerak menggunakan mesin diesel dan daya tambahan akan disuplai ke motor untuk menghasilkan listrik sebagai penompang kebutuhan akomodasi
3. Mode Mekanis adalah mode paling konvensional yaitu menggunakan mesin diesel untuk menggerakkan FPB dan genset untuk menyuplai kebutuhan listrik, biasanya beroperasi untuk kecepatan tinggi.



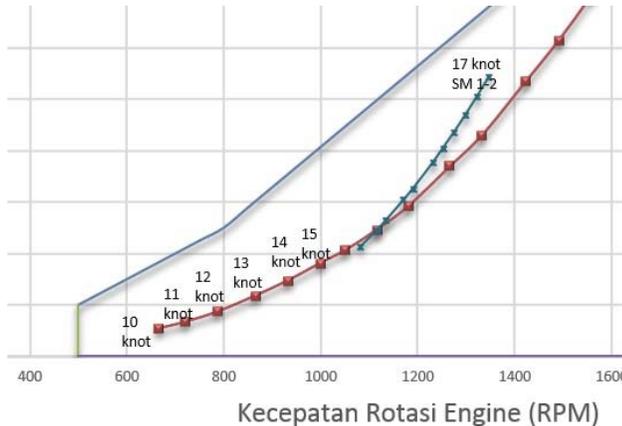
Gambar 11. Gambar Interface Program Simulasi untuk Mode Elektris

B. Analisa Bahan Bakar Simulasi

Pembahasan hasil simulasi berhubungan dengan tujuan kapal untuk patrol pada kecepatan 17 knot, dimana diasumsikan bahwa keadaan laut tidak selalu tenang. Analisa EPM menjadi semakin sulit dengan adanya perubahan keadaan-keadaan yang ada di laut selama kapal beroperasi, yang menyebabkan terjadinya perubahan hambatan kapal. Perubahan tersebut disebabkan oleh timbulnya fouling pada badan kapal propeller, perubahan kondisi cuaca pelayaran, perubahan displacement kapal dan kedalaman laut. Perbandingan antara perubahan tahanan yang disebabkan alas an-alasan diatas dengan kondisi kapal baru dan pada keadaan

calm water disebut dengan nilai SM atau *service margin* [7]. Nilai SM adalah salah satu input utama dalam program simulasi nantinya.

Penilaian dari nilai daya yang dibutuhkan setiap perubahan SM akan berbeda dengan kenaikan nilai kecepatan, dimana pada grafik diatas ditunjukkan dengan garis biru sedangkan untuk perbandingan daya yang disebabkan oleh kenaikan kecepatan ditunjukkan oleh garis merah.



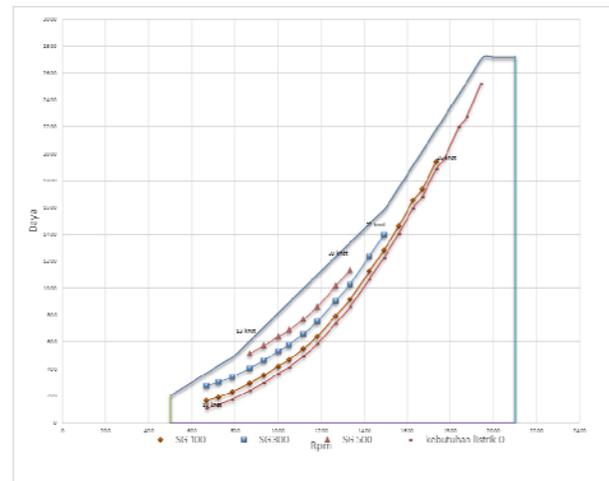
Gambar 13. Perbandingan daya dan putaran dari perubahan SM dan kecepatan

Hasil berikut menunjukkan bahwa walaupun kecepatan dan SM akan berpengaruh terhadap perubahan tahanan, namun keduanya merupakan nilai masukan yang harus di pertimbangkan secara independen sehingga menjadikan nilai kecepatan dan SM menjadi salah satu input dari program simulasi.

Daya listrik akan diperlukan untuk memenuhi kebutuhan akomodasi dan penunjang pada operasi penggerak mesin diesel sendiri, jumlah bervariasi tergantung kebutuhan, sehingga nilai input dapat dimasukkan secara bebas. Factor daya listrik akan berpengaruh dalam pemilihan system pada penyusunan program simulasi pengaturan pembangkitan daya, terutama untuk masukan nilai kerja generator atau sebagai pengganti dalam sistem hybrid yaitu pemakaian *shaft generator*.

Pemakaian shaft generator dengan mode PTO untuk mensuplai daya listrik bergantung pada besar output shaft generator yang dipasang dan dengan pertimbangan daya masukan dari mesin diesel agar sesuai dengan engine envelope, dan tidak melalui garis kerja yang ada, jika melebihi garis yang disediakan akan dipastikan bahwa daya yang diperlukan untuk suplai PTO dan propulsi tidak dapat dipenuhi.

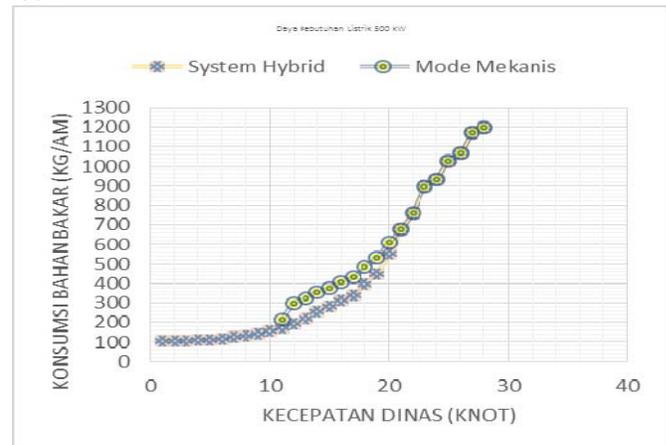
Shaft generator akan menyebabkan output daya dinaikkan pada putaran yang tetap namun dengan output menuju propeller sama seperti sebelumnya. Dengan ini penggunaan PTO akan menaikkan mengarahkan kerja mesin menuju ke titik hemat daya, pada beberapa titik tertentu. Sebagai contoh untuk operasi berikut, dengan menggunakan PTO pada kecepatan 10-30 knot dan pada SM 1.1. dianalisa dengan kebutuhan listrik yang di suplai oleh shaft generator pada daya 100 kW, 300 kW dan 500 kW



Gambar 14. Analisa pemakaian Shaft Generator pada kebutuhan listrik 100 kW, 300 kW dan 500 kW pada SM 1.1

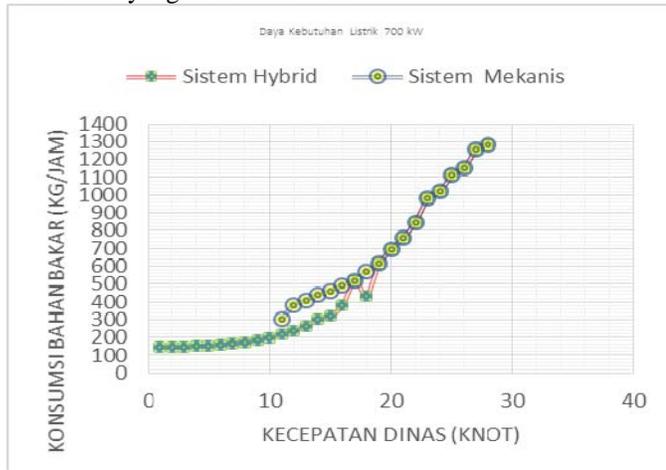
Dengan menggunakan shaft generator untuk menyalurkan daya ke kebutuhan listrik kapal, dengan memperhatikan engine envelope mesin diesel MTU 16M 400 90M menunjukkan ketersediaan yang berbeda bagi setiap kecepatan maupun kebutuhan listrik. Untuk kebutuhan listrik 100 kW tercatat dapat digunakan hingga kecepatan 26 knot, sedangkan untuk daya listrik 300 kW hanya dari kecepatan 10 mencapai 22 knot, dan untuk 500 kW hanya mencakup kecepatan 13 hingga 20 knot dengan catatan untuk batas envelope adalah 90% daya atau batasan maksimal. Dengan ini disimpulkan pula bahwa kebutuhan listrik memang merupakan salah satu input utama dari perencanaan pembangkitan daya.

Konsumsi bahan bakar merupakan aspek tujuan yang dicari dan diperhitungkan dalam perencanaan pembangkitan daya FPB 60 M ini. Untuk ulasan berikut akan di skemakan hasil simulasi untuk penghasil daya dengan acuan jumlah konsumsi bahan bakar yang akan dipakai disetiap kondisi. Dengan mencantumkan tiap kecepatan dari 1-30 knot dengan SM 1.2 dan dengan kebutuhan daya listrik masing-masing 500 kW, 700 kW.



Gambar 15. Perbandingan Konsumsi Bahan Bakar antara Hybrid system dan Sistem Mekanis SM 1.2 Kebutuhan Listrik 500 kW

Dengan perbandingan pada gambar 10, untuk kondisi pada kecepatan 0 knot hingga 20 sistem propulsi hybrid akan memberikan keuntungan dengan menawarkan konsumsi bahan bakar yang lebih rendah jika dioperasikan dengan tepat sesuai simulasi yang telah dibuat ini, yang selanjutnya pada kecepatan 20 knot keatas motor diesel memiliki nilai bahan bakar rendah sehingga dipakailah sistem propulsi mekanis untuk menompang propulsi kapal dan kebutuhan listrik akomodasi yang tertera 500 kW.



Gambar 16. Perbandingan Konsumsi Bahan Bakar antara Hybrid system dan Sistem Mekanis SM 1.2 Kebutuhan Listrik 700 kW

Gambar 11 memberikan penyajian sama sesuai dengan teori kecuali nilai pada kecepatan 16 knot dan 17 dimana dikarenakan ketidaktersediaan pemakaian shaft generator pada kecepatan 16 knot, mengharuskan pemakaian sistem mekanis untuk propulsi kapal, namun pada 17 knot shaft generator kembali memberikan solusi pemakaian bahan bakar yang lebih rendah daripada sistem mekanis.

#### IV. KESIMPULAN

Dengan pengerjaan tugas pengaturan simulasi pembangkitan daya ini, dan dengan analisa yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa Decision Support System dapat membantu Nahkoda mengoperasikan Fast Patrol Boat 60 M dengan optimum dan mendapatkan nilai bahan bakar minimum untuk kondisi yang diinginkan dengan desain interface yang mudah dipahami dan dijalankan. Efek dari perubahan nilai *service margin* berbeda dengan perubahan pada kecepatan karena *service margin* hanya akan berpengaruh dengan tahanan pada badan kapal. Perubahan kebutuhan listrik berpengaruh terhadap kondisi ketersediaan sistem shaft generator, dan tidak berpola bahwa dengan kecepatan dan *service margin* lebih tinggi bahwa sistem *Shaft Generator* tidak dapat digunakan, seperti pada kebutuhan daya 700 kWh dengan *service margin* 1.2, pada saat kecepatan 17 knot dan 18 knot, justru tersedia pada 18 knot dan pada 17 knot mesin diesel tidak dapat memenuhi daya dan putaran karena terbatas oleh spesifikasi pada *engine envelope*. Pemakaian Sistem Propulsi Hybrid menambah efisiensi pada kecepatan rendah dengan mengurangi nilai kebutuhan bahan bakar dibandingkan sistem propulsi mekanis.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Dedy, Wahyudi, "Laporan Tesis Perancangan Sistem Propulsi Hybrid (DMP&DEP) pada Kapal Patroli jenis Trimaran." Surabaya: 2010 1-4.
- [2] Mårten Storbäck, *Energy Efficiency improvements in shipping*. Wolffintie 36 M10 FI-65200 Vaasa Finland (2015) 1-19.
- [3] Bas Kwasięcyj, *Efficiency analysis and design methodology of hybrid propulsion systems*. 86150 Augsburg Germany (2013).
- [4] Ega W, "Penggunaan Motor Listrik Sebagai Propulsi Kapal Patroli," 2007.
- [5] Marek J. Druźdzęł and Roger R. Flynn, "Decision Support Systems," *University of Pittsburgh Pittsburgh*, 2002.
- [6] Gerhard Götz, "Technical Project Guide for MTU 12 and 16 series" *Germany, 2004*.
- [7] Woud, H.K dan Strapersma, *Design of propulsion and electric power generation systems*, IMarEST, Institut of Marine Engineering, Science and Technology, London, 2002.