

Power Management System (PMS) Sebagai Kontrol Utama Dalam Perkembangan Power Listrik Kapal

Fajar Pujiyanto¹, Eka Darmana^{2*}

^{1,2}Program Studi Teknika, Fakultas Teknik, Politeknik Bumi AKPELNI
Jl. Pawiyatan Luhur II, Bendanduwur, Semarang

*corresponding author. Email: ekadarmana@akpelni.ac.id

Abstrak

Power listrik kapal mulai diperkenalkan pada abad 19, listrik sebagai sumber energi pengoperasian kapal digunakan untuk penerangan, komunikasi, navigasi, *monitoring*, *alarm system*, menjalankan motor listrik, dan instalasi *high voltage* penggerak utama kapal. Instalasi listrik pertama kali oleh kapal komersial *SS Columbia* dengan power listrik DC, berlanjut kepada power listrik induksi motor AC dengan mesin diesel. Teknologi power listrik terbaru yaitu *All Electric Ship (AES)* oleh kapal penumpang *ferry Ampere*, adalah kapal pertama di dunia yang menggunakan *fully battery driven* dan beroperasi regular di perairan Norwegia. Saat ini *engineer* dunia mengembangkan desain kapal baru dengan sistem power *hybrid*, yaitu menyatukan dua atau lebih sumber power yang terintegrasi untuk mendapatkan power berefisiensi tinggi. Penulisan dalam paper ini menggunakan metode deskripsi kualitatif dengan mengacu kepada studi kepustakaan. Perkembangan listrik dari tiap generasi tentang sumber power listrik, kontrol otomatis dan manajemen power menjadi bahan untuk dibahas dalam penulisan ini. *Power Management System (PMS)* adalah system kontrol terintegrasi secara fungsional untuk mengoptimalkan alokasi power dan distribusi energi. PMS menjaga power listrik bekerja tanpa ada hambatan, gangguan, ataupun kegagalan sistem saat kapal beroperasi. PMS mengendalikan power secara aman dan berimbang antara pembangkit listrik dan distribusi power listrik kapal.

Kata Kunci: Kontrol Utama, Listrik Kapal, Power Management System (PMS)

Abstract

Shipboard electrical power was introduced in the 19th century, electricity as a source of energy for operating vessel is used for lighting, communication, navigation, monitoring, alarm systems, running electric motors, and high voltage installations as the main propulsion. The first electrical installation by commercial ship SS Columbia with a DC electrical power, followed by an AC induction motor with a diesel engine. The new technology of electrical power is All Electric Ship (AES) by the passenger ferry Ampere, is the first ship in the world to use fully battery driven and operate regularly in Norway waters. Currently the world engineers are developing new ship designs with a hybrid power, which combines two or more integrated power sources to get high-efficiency power. In this paper uses a qualitative description method with reference to literature studies. The development of electricity from each

generation regarding electric power sources, automatic control and power management is the material to be discussed in this paper. The Power Management System (PMS) is a functionally integrated control system to optimize power allocation and energy distribution. PMS keeps electrical power working without any fault, disruptions or system failures while the ship is operating. PMS controls power in a safe and balanced manner between power generation and distribution of ship electrical power.

Keywords: *Main Control, Shipboard Electricity, Power Management System (PMS)*

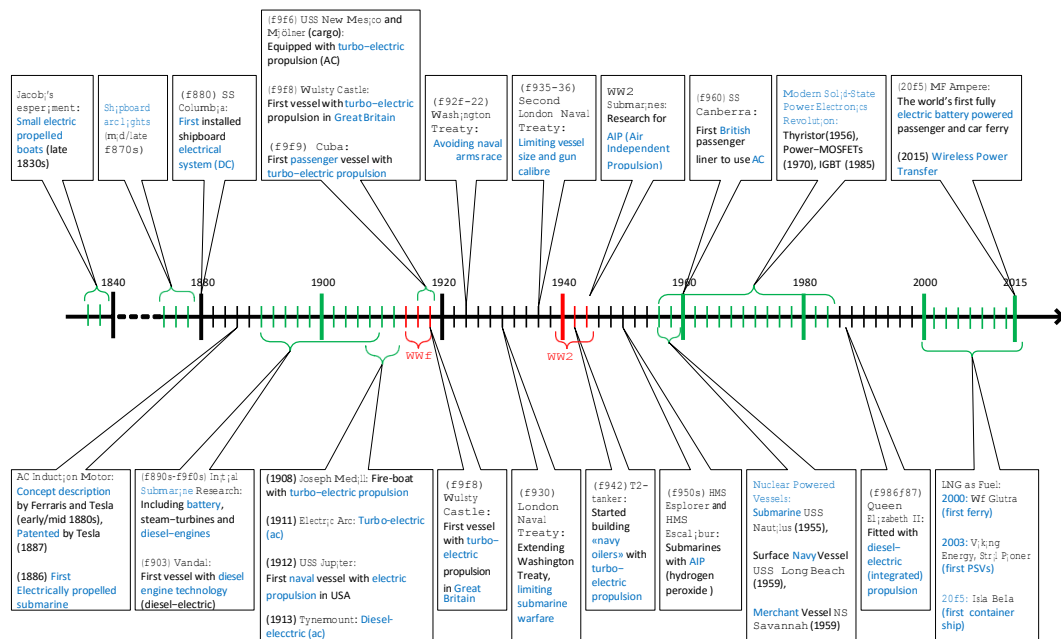
PENDAHULUAN

Power listrik bagian penting dalam industri maritim, listrik sebagai sumber energi untuk pengoperasian dan menjalankan kapal. Instansi listrik digunakan untuk keperluan penerangan, alat komunikasi, alat navigasi, *monitoring, alarm system*, menjalankan motor listrik, hingga instalasi *high voltage* untuk keperluan penggerak utama kapal. Power listrik kapal mulai diperkenalkan pada abad 19, perkembangan sistem power listrik kapal terus mengalami evolusi hingga hari ini. Melihat catatan sejarah sistem instalasi listrik pertama kali oleh kapal komersial *SS Columbia* dengan instalasi listrik DC pada tahun 1880, berlanjut kepada pengembangan sistem listrik induksi motor AC menggunakan mesin diesel (Skjong et al., 2015). Kapal *SS Colombia* sebagai pemicu awal penelitian dan pengembangan power listrik yang dilakukan sejak abad 19 sampai dengan awal abad 20.

Evolusi power listrik oleh inovasi teknologi *solid state* sebagai awal era baru teknologi kapal, ditandai oleh *Quin Elizabeth II* tahun 1887 sebagai kapal pertama *diesel electric* yang terintegrasi dengan sistem penggerak utama. Awal tahun 2015 power listrik dengan teknologi *All Electric Ship (AES)* oleh kapal penumpang ferry *Ampere*, merupakan kapal pertama di dunia yang menggunakan *fully battery driven* dan beroperasi secara regular di perairan Norwegia (Skjong et al., 2016).

All electric ship menjadi revolusi pengembangan power listrik kapal dewasa ini, *engineer* dunia maritim terus berusaha untuk menciptakan desain kapal baru dengan sistem power *hybrid*. Teknologi *hybrid* menyatukan dua atau lebih sumber power yang terintegrasi untuk mendapatkan power dengan efisiensi tinggi, sistem integrasi memerlukan perancangan yang kompleks untuk mendapatkan hasil maksimal. Dasar penyimpanan energi hybrid dengan modular isolasi *multilevel converter* DC sebagai *design prototype* kapal MVDC (*Medium Voltage DC*). Algoritma multi fungsi control dirancang untuk mendapatkan suplemen energi, *Active Power Filter (APF)*, dan membatasi gangguan arus (Mo & Li, 2017).

Perkembangan power listrik kapal di setiap generasi memiliki metode yang berbeda dalam upaya meningkatkan sistem operasional dan memperoleh efisiensi maksimal saat kapal beroperasi, kapal dengan sistem penggerak listrik memiliki instalasi yang kompleks dalam hal sistem kontrol dan sistem otomatisnya. Manajemen power diaplikasikan untuk mengontrol keseluruhan kerja kelistrikan, dengan tujuan untuk mengantisipasi apabila terjadi kesalahan dan menghindari terjadinya *lost of power* atau *blackout* (Schiff, 1991). *Power Management System (PMS)* adalah bagian krusial dari sistem otomatis dan sistem power listrik kapal, khususnya pada kapal dengan penggerak utama listrik (Nasrudin & Syafiquddin, 2016). Power management memerlukan sistem integrasi antara pembangkit listrik dan sistem pembagian beban listrik untuk kepentingan pengoperasian kapal secara otomatis. Hal ini penting karena digunakan sebagai pengontrol power secara tertib untuk memastikan pasokan daya listrik yang memadai ke berbagai komponen, memaksimalkan kemampuan pencegahan listrik padam serta berfungsi untuk menurunkan biaya perawatan melalui perlindungan peralatan terhadap kesalahan dan kerusakan.



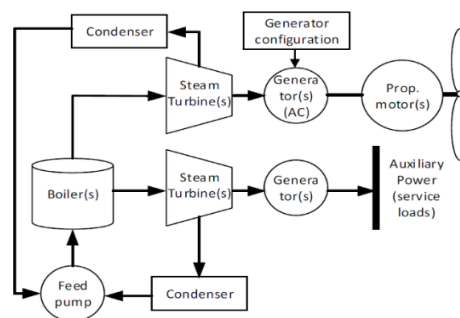
Gambar 1. Sejarah berdasarkan garis waktu perkembangan power sistem kapal (Skjong et al., 2015).

Perkembangan teknologi power kelistrikan kapal mengacu kepada sejarah perkembangan pada Gambar 1, mengelompokan sistem power menjadi tiga kelompok dan menambahkan teknologi hybrid sebagai sistem power generasi baru. Power listrik tersebut yaitu 1. *turbo elektrik power*, 2. *diesel electric power*, 3. *all electric ship*, 4) *power hybrid*. Sistem power listrik dari setiap generasi berkesinambungan dan terus dilakukan pengembangan untuk mendapatkan efisiensi tinggi sesuai dengan aturan serta regulasi dunia maritim.

A. Turbo Electric Power

Generasi pertama untuk kapal menggunakan *turbo electric* dibangun setelah tahun 1900, saat itu kebutuhan permintaan penggerak listrik sangat tinggi. Power listrik tersebut hanya bisa terpenuhi dengan *turbo electric*, tiap baling-baling didukung oleh *steam turbin generator*, dengan memvariasikan kecepatan generator, dan pengendalian kecepatan motor penggerak (Doerry et al., 2015). Kapal pertama adopsi *turbo electric* yaitu *Joseph Medill*, empat tahun berikut kapal *USS Jupiter* tahun 1912. Kapal ini merupakan hasil percobaan, dimana kapal tersebut mengadopsi mesin diesel dan terkoneksi langsung dengan *steam turbin* (Skjong et al., 2016).

Kapal perang pertama yang mengadopsi penggerak *turbo electric* yaitu *USS New Mexico* tahun 1914 dengan *dual voltage* dan *variable* frekuensi generator, *rate power* 7500 Hp 24/36 *pole* induksi motor. Power kontrol dari integrasi sistem tersebut memberikan peningkatan yang signifikan terhadap pemakaian bahan bakar, sistem pembalikan motor yang berat dapat dilakukan dengan mudah hanya menggunakan kontrol *switching circuit* tanpa merubah *steam system* (Skjong et al., 2015).



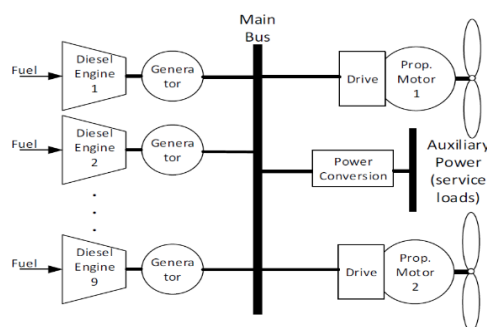
Gambar 2. Skema sistem *turbo electric* kapal *USS New Mexico* (Skjong et al., 2015).

B. Diesel Electric Power

Kapal tanker *Vandal* sebagai kapal pertama yang menggunakan teknologi power *diesel electric* pada tahun 1903, dengan instalasi mesin diesel 3 *cylinder* 120 Hp dengan kontrol transmisi elektrik (Skjong et al., 2015). *Power diesel electric* bekerja sangat baik untuk kapal dengan bobot yang ringan, sistem ini memerlukan daya yang besar dari generator pembangkit untuk menggerakkan mesin utama. Sistem power oleh *diesel electric* terus dikembangkan hingga digunakan untuk kapal selam milik Jerman pada masa perang dunia pertama.

Power diesel elektrik menjadi teknologi yang banyak diaplikasi untuk teknologi kapal saat ini karena kehandalan dan keserbagunaannya saat operasi (Nasrudin & Syafiquddin, 2016). Sistem power listrik menggunakan pembangkitan dari generator, listrik disalurkan ke sistem distribusi untuk keperluan operasional kapal. Operasional kapal antara lain sebagai penggerak utama, keperluan komunikasi, permesinan bantu, hingga instalasi keselamatan kapal (Hall, 1999). Mayoritas kapal Eropa untuk keperluan pengangkutan *cargo*

menggunakan *diesel electric*, sistem ini terus mengalami peningkatan dan kemajuan pesat (BERG, 1926).



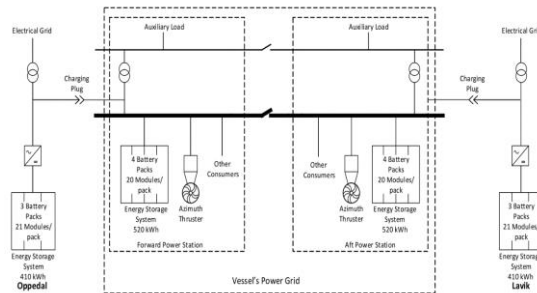
Gambar 3. Skema power *diesel electric* dan sistem distribusi (Skjong et al., 2015)

C. All Electric Ship (AES)

Sistem power kapal dengan *All Electric Ship (AES)* adalah kapal dengan power listrik menggunakan *full battery power* sebagai penggerak utama dan sistem operasionalnya. Pada Januari 2015 AES pertama di dunia oleh kapal penumpang ferry *Ampere* bertenaga *battery*. Kapal ini didesain dengan lambung ganda, panjang 80 meter dan lebar 21 meter, 7 buah kamar untuk *crew* kapal dan 140 kursi penumpang. Kapal dapat mengakomodasi sampai dengan 120 mobil dan 360 penumpang (Norled, 2015).

Kapal ferry *Ampere* dilengkapi dengan *battery* berkapasitas 1MW untuk menunjang kegiatan operasional penyeberangan di perairan Norwegia, kapal melakukan pengisian *battery power pack* menggunakan instalasi listrik darat. Desain kapal sedemikian rupa untuk mendapatkan bobot kapal yang ringan dan desain lambung optimal untuk memperoleh efektivitas energi tinggi. Dermaga khusus dibuat untuk menjaga efisiensi energi dan power *battery* dengan menggunakan instalasi dermaga *vakum*, sehingga kapal dapat sandar diam di dermaga tanpa menjalankan motor penggerak utamanya (Skjong et al., 2015).

All electric ship memiliki sistem jaringan tenaga terpadu atau disebut *Integrated Electrical Power System (IEPS)*. Manajemen power dalam AES berperan sebagai jaringan "mikro" dengan tingkat daya yang besar dan difungsikan sebagai pengontrol daya membuat IEPS - AES menjadi jaringan cerdas *multi-MW* yang lahir secara alami (Sulligoi et al., 2016).

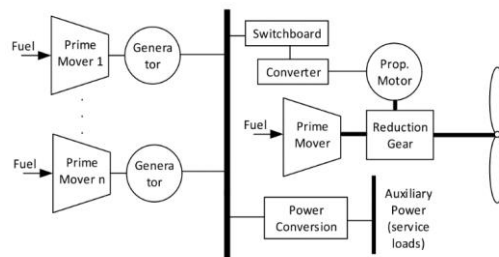


Gambar 4. Diagram integrated system kapal penumpang MF Ampere(Skjong et al., 2015).

D. Sistem Power Hybrid

Sistem power *hybrid* adalah kombinasi dari mesin, *battery*, penggerak daya, sumber tenaga alternatif seperti *fuel cell*, dan semuanya dikelola oleh *EMS (Energy Management System)*(Moraitakis, 2020). Kapal membutuhkan daya dalam jumlah besar untuk memenuhi kebutuhan beban yang berbeda-beda, seperti *harbour tug*, kapal ferry, kapal *offshore* atau kapal angkatan laut dapat memanfaatkan *battery* atau *Energy Storage System (ESS)* untuk mendukung power *hybrid*(Newman, 2019).

Pada kapal *hybrid*, *battery* merupakan bagian penting dari power sistem, tetapi dalam banyak kasus *battery* berfungsi menjadi power sekunder dari mesin utama. Saat ini kemungkinan besar akan menggunakan bahan bakar konvensional atau dapat beralih ke salah satu energi alternatif (*renewable energy*) ramah lingkungan yang sekarang ini terus dikembangkan(Latarche, 2020). Power *hybrid* terus diperkenalkan dan dikembangkan untuk kapal saat ini, karena berhubungan dengan rendahnya biaya produksi. Sistem power *hybrid* menggunakan *battery* sebagai penyimpan energi utama, karena teknologi *battery* saat ini memiliki dimensi atau ukuran volume kecil dan berat total yang lebih ringan.



Gambar 5. Diagram jaringan sistem power hybrid(Skjong et al., 2015)

E. Power Management System (PMS)

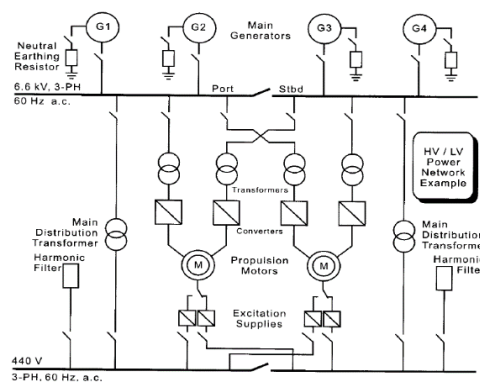
Sistem power listrik kapal terus mengalami kemajuan dan pengembangan dari tiap generasi, hal itu terjadi atas dasar kemajuan teknologi dan tuntutan aturan atau regulasi di dunia maritim. Marpol Annex VI tentang pencegahan pencemaran polusi udara menjadi dasar untuk menciptakan kapal dengan emisi gas buang

rendah, serta tuntutan untuk menciptakan energi terbarukan pengganti dari minyak bumi.

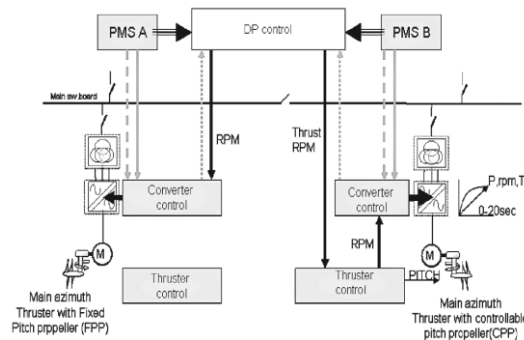
Engineer di dunia *maritime* termotivasi untuk mengganti power konvensional menjadi power sistem yang kompleks untuk menekan emisi gas buang dan menurunkan biaya operasional (Jaurola et al., 2019). Sistem power listrik dari pembangkit generator akan di distribusikan ke seluruh sistem instalasi pemakaian akhir melewati *transformator*, *switchboard* ataupun *converter*. Keseluruhan sistem power dimonitor dan dikontrol dengan satu sistem khusus menyesuaikan jaringan atau sistem integrasinya. *Power management system (PMS)* dapat berperan untuk memisahkan ataupun menyatukan jaringan dalam keseluruhan sistem otomatisasi kapal (Sørfonn, 2007). Manajemen power secara optimal menjadi kebutuhan penting dalam pengelolaan power guna peningkatan efisiensi dikapal (Anvari-Moghaddam et al., 2016).

Bentuk power management system dikapal yang paling sederhana adalah upaya untuk menghindari terjadinya listrik padam atau *blackout* (Valkeejärvi, 2005), fungsi lain untuk memastikan *main breaker* terputus atau *trip* apabila terjadi kelebihan beban pemakaian. PMS untuk memantau dan berfungsi sebagai kontrol keseluruhan dari sistem tenaga, menjadi elemen pengintegrasikan dalam integrasi penuh sistem power, sistem otomatisasi, dan sistem penentuan posisi [18]. Konsep integrasi atau *Integrated Power System (IPS)* dalam power management menjadi teknologi paling umum digunakan sebagai pengontrol power listrik kapal saat ini [19].

PMS untuk power listrik konvensional yaitu mengendalikan kebutuhan beban pemakai listrik *essential* dan *nonessential*, sistem secara otomatis mempertahankan dan memberikan daya listrik ke *essential machinery* saat kelebihan beban atau *overload*. Aplikasi *power management system* disesuaikan dengan jenis dan fungsi operasional kapal, saat ini jenis kapal *Dynamic Position (DP)* memiliki sistem lebih kompleks.



Gambar 6. Diagram power system sederhana (Hall, 1999)



Gambar 7. Diagram power sistem DP vessel (Sørffonn, 2007)

METODE PENELITIAN

Di dalam penulisan ini untuk mendapatkan hasil yang baik digunakan metodologi deskriptif kualitatif dengan mengacu kepada studi kepustakaan. data diperoleh melalui buku ilmiah, buku manual pabrik, ataupun jurnal penelitian. Studi kepustakaan ini dimaksudkan untuk mendapatkan data awal tentang sejarah perkembangan power listrik mulai dari generasi pertama hingga berlanjut ke generasi yang sekarang. Penulisan ini mengumpulkan data untuk mendapatkan acuan dasar tentang perkembangan power listrik dari tiap generasi, beberapa hal yang di perhatikan yaitu perkembangan sumber power listrik, kontrol otomatis dan manajemen power dari masing masing generasi listrik kapal. Karakteristik dari power listrik dan kontrol otomatis dirancang sesuai kebutuhan operasional kapal, pengembangan kontrol listrik dan model manajemen power dari tiap generasi kapal menjadi menjadi dasar pemikiran dari penulisan *paper* ini.

PEMBAHASAN

Power Management System (PMS) fungsi secara umum mengoptimalkan sistem operasional dan menjaga power komponen *essential* terpenuhi sekaligus mendapatkan efisiensi bahan bakar secara maksimum, dengan asumsi lain bahwa power wajib tersedia tanpa ada gangguan dan menghindari padam. Sistem bekerja dalam hal pengawasan atau *monitoring* secara penuh dan *full automatic control* untuk mengatur aliran energi listrik dari sumber pembangkit hingga titik terendah yaitu pemakai listrik. Prinsip utama mewujudkan power listrik yang memenuhi kriteria saat operasional mengacu kepada 7 hal, yaitu: 1. *Safety*, 2. *Reliability*, 3. *Accessibility*, 4. *Availability*, 5. *Impact of environment*, 6. *Economic*, 7. *Esthetic*.

Prinsip dasar diatas memiliki arti yaitu power listrik musti aman, power listrik handal saat beroperasi, power listrik mudah untuk digunakan siapapun dan kemudahan akses perawatan, power listrik tersedia sepanjang waktu, power listrik ramah lingkungan, power listrik dengan nilai efisiensi tinggi dalam hal perawatan dan perbaikan, terakhir yaitu menciptakan power listrik dengan prinsip estetika atau keindahan dalam instalasinya.

PMS sebagai kontrol penting untuk ketujuh prinsip dasar power listrik dalam mengontrol dan membandingkan jumlah beban listrik dengan ketersediaan

power listrik dari unit pembangkitan secara tepat aman. Pada saat ketersediaan power listrik menurun atau melemah sedangkan beban listrik semakin tinggi, maka PMS secara otomatis menjalankan pembangkit lain untuk mendukung kinerja dan menjaga ketersediaan power listrik. PMS kontrol menjaga dan menghindarkan power dari *blackout* melalui deteksi awal dan cepat dalam menganalisa kondisi beban listrik. Kontrol secara cepat mereduksi kebutuhan beban listrik, mengalokasikan power untuk *essential machinery* dan memberikan respon lanjutan untuk menambah sumber power.

Penyebab gangguan terbesar ketersediaan power listrik diakibatkan oleh mesin penggerak mengalami *shutdown* (Radan, 2008). PMS kontrol merespon setiap data yang ditampilkan oleh generator, baik data dari sisi mesin dan sisi alternator. Penyebab terjadinya mesin mengalami *breakdown* atau *shutdown* antara lain yaitu:

1. Kegagalan sistem bahan bakar, yaitu jalur bahan bakar buntu, filter kotor, pompa bahan bakar rusak, *injector* tidak bekerja maksimal, terdapat kandungan air di dalam bahan bakar.
2. Kegagalan gerak mekanik, yaitu kehilangan tekanan untuk air pendingin, tekanan minyak lumas, tekanan udara masuk sistem, overspeed atau putaran mesin berlebih, dan temperatur tinggi untuk air pendingin ataupun minyak lumas.
3. Kegagalan sistem kontrol, yaitu transmitter tidak menampilkan nilai tekanan dan temperatur secara benar, adanya tekanan berlebih didalam ruang *crankcase*, sensor mendeteksi adanya gas berbahaya di ruang *crankcase*, kehilangan sinyal input dan output dari sensor.
4. Kesalahan operator / *engineer*, yaitu kesalahan pada saat proses *parallel* dan proses pembagian beban tidak tepat sehingga sistem *trip* oleh *revers power protection*.

Power managemen secara konsep awal sebagai pengendali energi dan bahan bakar minyak serta gas, namun saat ini managemen power berkembang untuk mengendalikan teknologi power baru dari energi terbarukan (Fossen, 2002). Managemen power dikelompokkan menjadi 3 bagian untuk sistem pengendaliannya, yaitu:

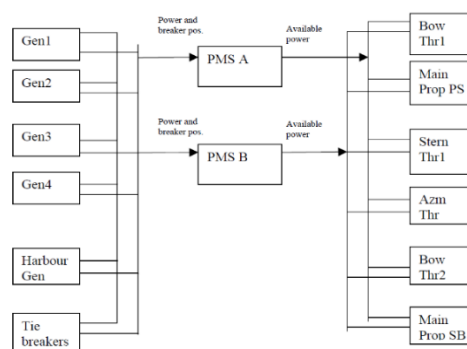
1. Manajemen pembangkit listrik: monitoring terhadap frekuensi dan tegangan, monitoring pembagian beban aktif ataupun pasif, pengendalian *start* dan *stop* power pembangkitan bergantung terhadap beban listrik, monitoring sistem *parallel* dan pembagian beban berimbang, monitoring terhadap parameter atau poin-poin kritis, monitoring terhadap transformator pembangkitan listrik, pengendali mode kontrol pengoperasian, mengatur proses start power pendukung saat *blackout*.
2. Manajemen *load* atau beban: monitoring beban dan integrasi pembatasan daya pada semua komponen beban, mengatur pelepasan secara otomatis setiap beban *nonessential*, mengatur aliran listrik berimbang ke seluruh panel, pengaturan MCB *breaker* dan *interlock* berdasarkan distribusi daya yang tersedia

3. Manajemen distribusi power: monitoring sistem aliran power setiap panel distribusi, monitoring terhadap *fault* atau kesalahan jaringan distribusi, monitoring parameter kontrol dan nilai *low insulation*, monitoring konfigurasi sistem dan urutan kontrol sebagai dasar pengaturan ulang dalam konfigurasi distribusi. Sistem manajemen distribusi power menjalankan proses konfigurasi ulang untuk mendapatkan kontrol yang sesuai dan benar saat kapal beroperasi.

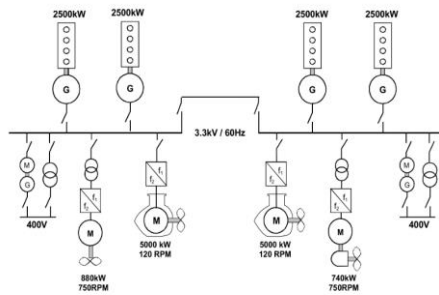
Sistem pengendalian operasional power kapal oleh PMS kontrol yaitu:

1. Pengendalian start-stop dan *safety device* generator.
2. pengendalian kontrol otomatis paralel dan sinkronisasi generator.
3. Pengendalian kontrol otomatis *share* dan *auto release* beban listrik.
4. Pengendalian pencegahan power *blackout*.
5. Kemampuan menyediakan power listrik untuk penggerak utama dan beban pemakaian berat
6. Pengendalian *auto trip* atau *preference trip relay*,
7. Pengendalian frekuensi dan pengaturan mode operasional kapal.
8. engendalian transfer atau perpindahan sumber power dan beban oleh *shaft generator*.

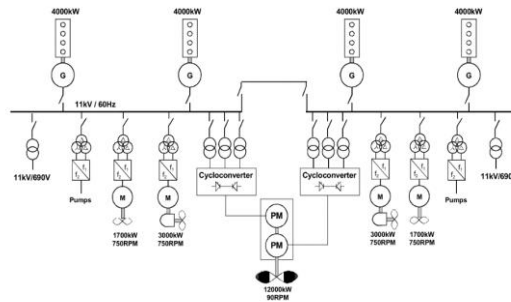
Kontrol pengendalian pencegahan power listrik *blackout* oleh PMS adalah hal penting dan utama. Salah satu hal yang menyebabkan *blackout* yaitu adanya kelebihan beban dimana generator tidak sanggup memenuhi kebutuhan power yang diperlukan. Peran PMS untuk memantau setiap waktu beban listrik berjalan, kontrol akan cepat merespon dan mengambil tindakan guna mengurangi beban dan menyalakan generator sebagai power penunjang. Salah satu bentuk PMS yang digunakan pada kapal *Dynamic Position (DP)* adalah sistem dimana power terbagi atas dua sisi yaitu PMS A dan PMS B. Power sistem kapal beroperasi secara terpisah antara PMS A dan B dan terdapat *tie breaker* sebagai penghubung diantara keduanya. Kontrol *tie breaker* berfungsi sebagai pemutus dan penghubung jaringan antara PMS A dan B, sebagai contoh apabila PMS A *failure* maka beban listrik akan diambil alih PMS B secara cepat (Gambar 8).



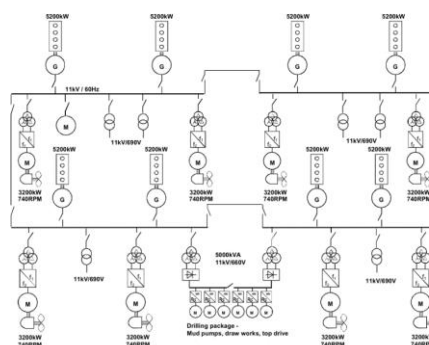
Gambar 8. PMS Topology(Sørfonn, 2007).



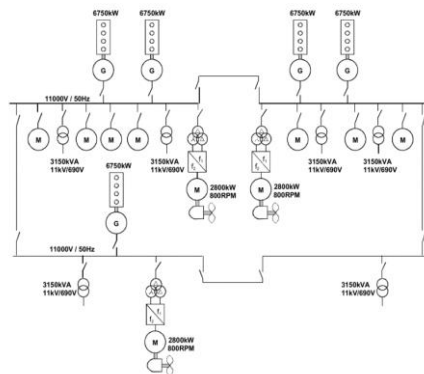
Gambar 9. Diagram single line dengan dua-split power plant pada Offshore Supply vessel, terdiri dari empat set generator, dua azipods, satu azimuth thruster, satu tunnel thruster(Fossen, 2002)



Gambar 10. Diagram single line dengan dua-split power plant pada kapal Tanker, terdiri dari empat set generator, satu mesin utama, dua azimuth thruster, dua tunnel thruster(Fossen, 2002)



Gambar 11. Diagram single line, empat-split power plant pada drilling rig, terdiri dari delapan set generator, delapan azimuth thruster(Fossen, 2002)



Gambar 12. Diagram single line, dua-split power plant pada FPSO, terdiri dari lima set generator, tiga azimuth thruster (Fossen, 2002)

PENUTUP

Kesimpulan

Power listrik kapal diperkenalkan pada abad 19, melihat catatan sejarah power listrik dimulai pertama kali oleh kapal komersial *SS Columbia* berlanjut ke power listrik induksi motor AC menggunakan mesin diesel. Evolusi power listrik dengan inovasi teknologi *solid state* sebagai era baru teknologi kapal oleh *Queen Elizabeth II*, sebagai kapal pertama *diesel electric* yang terintegrasi dengan sistem penggerak utama. *All Electric Ship* oleh kapal penumpang ferry *Ampere* diperkenalkan tahun 2015, adalah kapal pertama di dunia yang menggunakan *fully battery driven* untuk seluruh sistem operasionalnya. *AES* sebagai revolusi power listrik kapal, pengembangan power kapal saat ini yaitu desain kapal baru dengan menggunakan power *hybrid*. *Power Management System (PMS)* sebagai bagian krusial sistem otomatis power listrik kapal saat ini, manajemen power merupakan sistem terintegrasi antara pembangkit listrik dan distribusi beban. Power listrik untuk operasional wajib memenuhi 7 prinsip dasar, yaitu: *safety, reliability, accessibility, availability, impact of environment, economic, esthetic*. Konsep awal manajemen power sebagai pengendali energi bahan bakar minyak dan gas, namun saat ini berkembang untuk mengendalikan teknologi power baru dari energi terbarukan (*renewable energy*). Manajemen power dibagi menjadi 3 kelompok untuk sistem yang dikendalikan, yaitu manajemen power pembangkit listrik, manajemen distribusi pembagian beban dan manajemen distribusi power. Setiap kapal memiliki manajemen power yang berbeda, disesuaikan dengan fungsi operasional kapal. Power *hybrid* kapal banyak dikembangkan saat ini, untuk kedepan perlu pembahasan lebih lanjut tentang pengembangan *PMS Hybrid* dalam integrasi mengontrol *Energy Management System (EMS)*, *Energy Storage System (ESS)*, *Battery Energy Storage System (BESS)*.

DAFTAR PUSTAKA

Anvari-Moghaddam, A., Dragicevic, T., Meng, L., Sun, B., & Guerrero, J. M. (2016). Optimal planning and operation management of a ship electrical

- power system with energy storage system. *IECON Proceedings (Industrial Electronics Conference)*, 2095–2099. <https://doi.org/10.1109/IECON.2016.7793272>
- BERG, E. (1926). Electric Propulsion of Ships. *Journal of the American Society for Naval Engineers*, 38(2), 346–453. <https://doi.org/10.1111/j.1559-3584.1926.tb05548.x>
- Doerry, N., Amy, J., & Krolick, C. (2015). History and the Status of Electric Ship Propulsion, Integrated Power Systems, and Future Trends in the U.S. Navy. *Proceedings of the IEEE*, 103(12), 2243–2251. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2015.2494159>
- Fossen, T. I. (2002). Marine control systems. *Book*, 558. <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Marine+C+control+Systems#1>
- Hall, D. T. (1999). *KNOWLEDGE MARINE Second Edition*.
- Jaurola, M., Hedin, A., Tikkanen, S., & Huhtala, K. (2019). Optimising design and power management in energy-efficient marine vessel power systems: a literature review. *Journal of Marine Engineering and Technology*, 18(2), 92–101. <https://doi.org/10.1080/20464177.2018.1505584>
- Latarche, M. (2020). *Battery and hybrid ships. How do they work and how many are in operation*. ShipInsight. <https://shipinsight.com/articles/battery-and-hybrid-ships-how-do-they-work-and-how-many-are-in-operation/>
- Mo, R., & Li, H. (2017). Hybrid Energy Storage System with Active Filter Function for Shipboard MVDC System Applications Based on Isolated Modular Multilevel DC/DC Converter. *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, 5(1), 79–87. <https://doi.org/10.1109/JESTPE.2016.2642831>
- Moraitakis, G. (2020). *Increasing efficiency through hybrid technology* (p. 10). safety4sea. https://safety4sea.com/cm-increasing-efficiency-through-hybrid-technology/?__cf_chl_jschl_tk__=84dd7e3a61ad7aa09a4c2b1f0d4842968ed57cc0-1619752226-0-AVJtprK2uduP4E4QUSgb-qiN5zXHEQT16m3LmMTLAAHiVYkiyQP8iM4ANA7ad7_4bXkeCxzhGPMTechd9WE-Put485YS4XhZ2AF4sJ0eHN
- Nasrudin, I., & Syafiqiuddin, C. S. M. (2016). Design Study of Power Management System for Parallel Operation of Generator Set of a Ship's Diesel Electric Power Plant. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences ISSN*, 20(1), 2289–7879.
- Newman, N. (2019). *Hybrid ships that voyage across the deep blue could very well be the key to unlocking environmental sustainability*. Engineering and Technology. <https://eandt.theiet.org/content/articles/2019/01/hybrid-ships-take-to-the-high-seas/>
- Norled. (2015). *Ampere Electric Powered Ferry*. ShipTechnology. <https://www.ship-technology.com/projects/norled-zero-cat-electric-powered-ferry/>
- Radan, D. (2008). Integrated Control of Marine Electrical Power Systems. In *PhD Thesis* NTNU. <https://pdfs.semanticscholar.org/b770/71c49cf7425e23a386e5d90b779cd21e>

- 242e.pdf%0Ahttp://folk.ntnu.no/assor/PhD Thesis/Phd_Radan_NTNU.pdf
- Schiff, A. J. (1991). Power Systems. *Earthquake Spectra*, 7(1_suppl), 57–68. <https://doi.org/10.1193/1.1585650>
- Skjong, E., Rødskar, E., Molinas, M., Johansen, T. A., & Cunningham, J. (2015). The Marine Vessel's Electrical Power System: From its Birth to Present Day. *Proceedings of the IEEE*, 103(12), 2410–2424. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2015.2496722>
- Skjong, E., Volden, R., Rodskar, E., Molinas, M., Johansen, T. A., & Cunningham, J. (2016). Past, present, and future challenges of the marine vessel's electrical power system. *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, 2(4), 522–537. <https://doi.org/10.1109/TTE.2016.2552720>
- Sørfonn, I. (2007). Power management control of electrical propulsion systems. *Dynamic Positioning Conference, Houston*. http://dynamic-positioning.com/dp2007/design_sorfonn.pdf
- Sulligoi, G., Vicenzutti, A., & Menis, R. (2016). All-electric ship design: From electrical propulsion to integrated electrical and electronic power systems. *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, 2(4), 507–521. <https://doi.org/10.1109/TTE.2016.2598078>
- Valkeejärvi, K. (2005). The ship's electrical network, engine control and automation. *Money*, 19–24.