

Pemodelan Pengereman Regeneratif Pada Hybrid Rubber Tired Gantry Crane

Sri Mawar Said
Electrical Engineering Departement
Hasanuddin University
Makassar, Indonesia
srinawarsaid@unhas.ac.id

Gassing
Electrical Engineering Departement
Hasanuddin University
Makassar, Indonesia
gassing@unhas.ac.id

Anugrah Agung Saputra
Electrical Engineering Departement
Hasanuddin University
Makassar, Indonesia
anugrah.agung1945@gmail.com

Abstrak— Rubber tired gantry (RTG) crane adalah crane yang digunakan untuk menumpuk kontainer di lapangan pelabuhan. Ketika rubber tired gantry crane menurunkan kontainer, motor pengangkat bertindak sebagai generator, menghasilkan energi yang dapat diserap apabila RTG crane memiliki sistem penyimpanan energi. Dalam tugas akhir ini, dilakukan pemodelan RTG crane dengan tambahan baterai (hybrid) sebagai sumber energi alternatif, kemudian melakukan perbandingan energi yang digunakan antara konvensional dan hybrid RTG crane. Pemodelan dilakukan menggunakan Matlab Simulink, dengan mengikuti spesifikasi crane yang ada di Pt. Pelindo Makassar New Port. Pada tugas akhir ini, dilakukan simulasi dengan 3 jenis hybrid yaitu hybrid A, hybrid B dan hybrid C dengan kapasitasnya secara berurut sebesar 46,704 kWh, 93,408 kWh dan 140,112. Hasil analisis dari penelitian ini diperoleh bahwa penggunaan energi dari hybrid jika dibandingkan dengan konvensional sebesar 51,3% s.d. 70,5% untuk hybrid A, 39,1% s.d. 48,8% untuk hybrid B, dan 0,297% s.d. 0,486% untuk hybrid C.

Kata Kunci — RTG Crane, Baterai, Pengereman Regeneratif, Matlab Simulink, Energi.

I. PENDAHULUAN

Pengiriman barang dilakukan di seluruh dunia dengan laju pengiriman yang belum pernah terjadi sebelumnya, barang dikirim melalui darat, udara dan laut. Terminal peti kemas menangani pemindahan kargo dari satu media transportasi ke media lainnya, misalnya dari laut ke darat. Pada terminal peti kemas, ada beberapa jenis crane yang beroperasi. Pertama ada crane ship-to-shore (STS), yang memindahkan kontainer dari kapal ke truk kontainer dan sebaliknya. Kemudian kontainer dibawa oleh truk kontainer menuju lapangan kontainer untuk ditumpuk. Di terminal yang kecil, penumpukan ini dapat dilakukan oleh pengangkut straddle, tetapi di terminal besar penumpukan ini dilakukan menggunakan rubber tired gantry (RTG) crane.

RTG crane sering melakukan pengereman saat beroperasi, ketika RTG crane menurunkan kontainer, motor pengangkat (hoist) bertindak sebagai generator, menghasilkan energi regeneratif. RTG crane konvensional mengkonversi energi yang diregenerasi melalui resistor pengereman dalam bentuk panas, yang mengakibatkan energi dari pengereman regeneratif tidak dapat digunakan. Apabila RTG crane dilengkapi dengan perangkat penyimpan energi, energi dari

pengereman regeneratif dapat diserap yang dapat digunakan untuk gerakan RTG crane selanjutnya.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Rubber Tired Gantry Crane

Rubber tyred gantry (RTG) crane adalah crane yang digunakan untuk menumpuk kontainer di lapangan pelabuhan. Seperti namanya, crane ini memiliki 8 atau 16 ban yang mampu menangani kontainer 20 hingga 40 kaki dengan berat hingga 40 ton [1].

RTG crane memiliki bus DC yang terkoneksi ke semua motor, dimana dioda penyearah akan mengonversi sumber AC 3 fasa menjadi DC yang akan dikonversikan kembali menjadi AC 3 fasa menggunakan inverter. Energi regenerasi akan mengalir ke bus DC, sehingga motor lain dapat menggunakan sebagian dari energi regeneratif, sedangkan kelebihan energinya akan dibuang ke rem resistor. Rem resistor digunakan untuk membuang energi regeneratif ketika pengereman (kontainer diturunkan) yang secara otomatis akan aktif dengan naiknya nilai tegangan bus DC. Pada bus DC ini, juga dapat ditambahkan penyimpanan energi yang dapat di charge dan discharge oleh motor yang terhubung ke bus DC [2].

B. Motor Induksi 3 Fasa

Motor induksi 3 fasa biasa juga disebut motor asinkron, disebut motor induksi dikarenakan arus rotor dihasilkan oleh induksi medan elektromagnetik stator dan disebut motor asinkron karena kecepatan operasinya tidak pernah berada pada kecepatan sinkron. Motor induksi 3 fasa adalah motor AC yang paling sering digunakan di industri dikarenakan konstruksinya yang simpel dan kuat, murah, efisiensi tinggi, power faktor yang cukup tinggi, starting sendiri dan biaya maintenance yang murah. [3].

C. Pengereman Regeneratif

Mode operasi pembangkit digunakan dalam beberapa aplikasi penggerak untuk memberikan pengereman regeneratif. Sebagai contoh, motor induksi atau motor asinkron yang terhubung dengan variable frequency drives (VFD) untuk mengontrol kecepatan sistem penggerak. Untuk menghentikan sistem penggerak, frekuensi suplai dikurangi secara bertahap, sehingga kecepatan sesaat sistem penggerak

lebih tinggi daripada kecepatan sinkron. Akibatnya, aksi pembangkitan dari mesin induksi akan menyebabkan aliran daya berbalik arah dan energi kinetik dari sistem penggerak akan diumpankan kembali ke sumber. Proses ini dikenal sebagai pengereman regeneratif [4].

D. Konverter DC-DC

Konverter DC-DC mengkonversi DC ke DC, konverter DC dapat dianggap sebagai ekuivalen DC dengan transformator AC. Seperti halnya transformator, konverter DC-DC dapat digunakan untuk menurunkan atau menaikkan sumber tegangan DC [5].

E. Variable Frequency Drive

Variable frequency drives (VFD) mengubah kecepatan motor dengan mengubah tegangan dan frekuensi daya yang disuplai ke motor. VFD mengontrol kecepatan motor dengan memvariasikan tegangan dan frekuensi keluaran. Kecepatan motor (rpm) bergantung pada frekuensi, oleh karena itu dengan memvariasikan frekuensi catu daya melalui VFD untuk mengontrol kecepatan motor [6].

F. Baterai

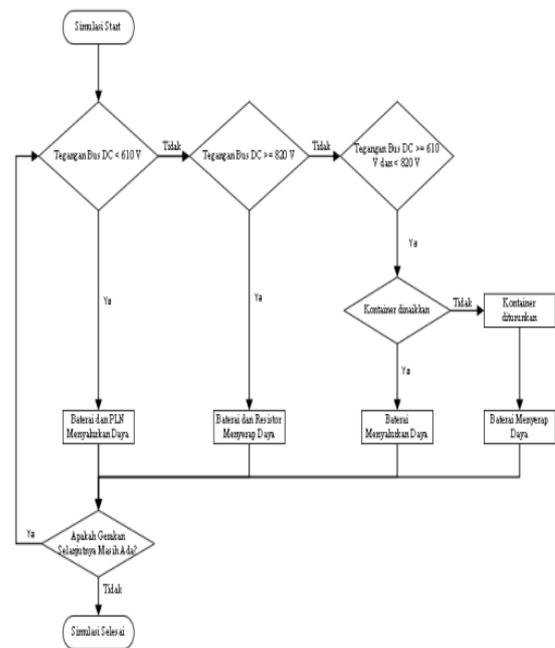
Penggunaan baterai sangat tinggi dalam bidang elektronik portabel karena energi spesifiknya yang tinggi, yang menyebabkan bobot baterai yang rendah, dan kepadatan energi yang tinggi, yang menyebabkan volume baterai menjadi rendah. Baterai terdiri dari dua elektroda (katoda dan anoda) yang dipisahkan oleh elektrolit. Ketika discharging, ion bergerak melalui elektrolit dari potensial kimia litium tinggi yang ada di anoda ke potensial kimia litium rendah yang ada di katoda. Elektron yang bergerak di sirkuit eksternal dapat digunakan untuk melakukan kerja eksternal. Selama pengisian, potensial listrik eksternal diterapkan, dan prosesnya dibalik [7].

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Teknik Pengumpulan Data

Dalam proses penelitian ini, data yang digunakan adalah data kuantitatif. Berdasarkan sumber pengambilan data, penelitian ini menggunakan data sesuai dengan spesifikasi salah satu *crane* pada PT. PELINDO Makassar Newport.

B. Alur Penelitian



Gambar 1 Alur Penelitian

Alur penelitian simulasi berfokus pada level tegangan dari bus DC yang dapat dilihat pada Gambar 1.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Data

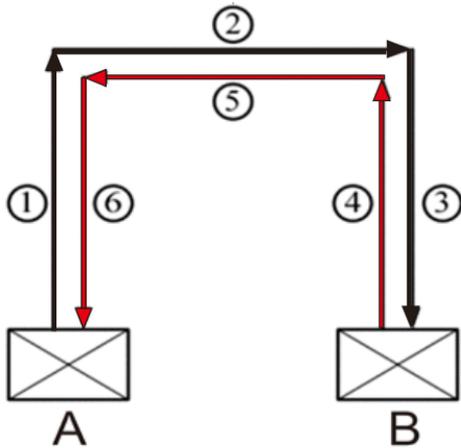
Data motor hoist RTG *crane* dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Data motor hoist

Kapasitas	250 kW
Tegangan	400 V
Fasa	3 fasa
Jumlah Kutub	6
Frekuensi	50 Hz
Jarak lintasan	18,2 m
Kecepatan Beban Penuh & Tanpa Beban	25 & 50 m/menit
Rasio Gear	1:66,756
Resistansi Stator	$6,75 \times 10^{-3} \Omega$
Resistansi Rotor	$4,07 \times 10^{-3} \Omega$
Induktansi Stator	$1,8772 \times 10^{-4} H$
Induktansi Rotor	$1,9512 \times 10^{-4} H$
Mutual Induktansi	$4,64112 \times 10^{-3} H$

B. Skenario

Dalam pemodelan ini dilakukan simulasi aktifitas impor RTG *crane* yang gerakannya dapat dilihat pada Gambar 2. Untuk berat kontainer yang digunakan adalah mulai dari kontainer kosong (4,67 Ton) hingga kontainer dengan muatan maksimal (34 Ton).



Gambar 2 Siklus Kerja RTG Crane

Keterangan:

Box A : Truk kontainer

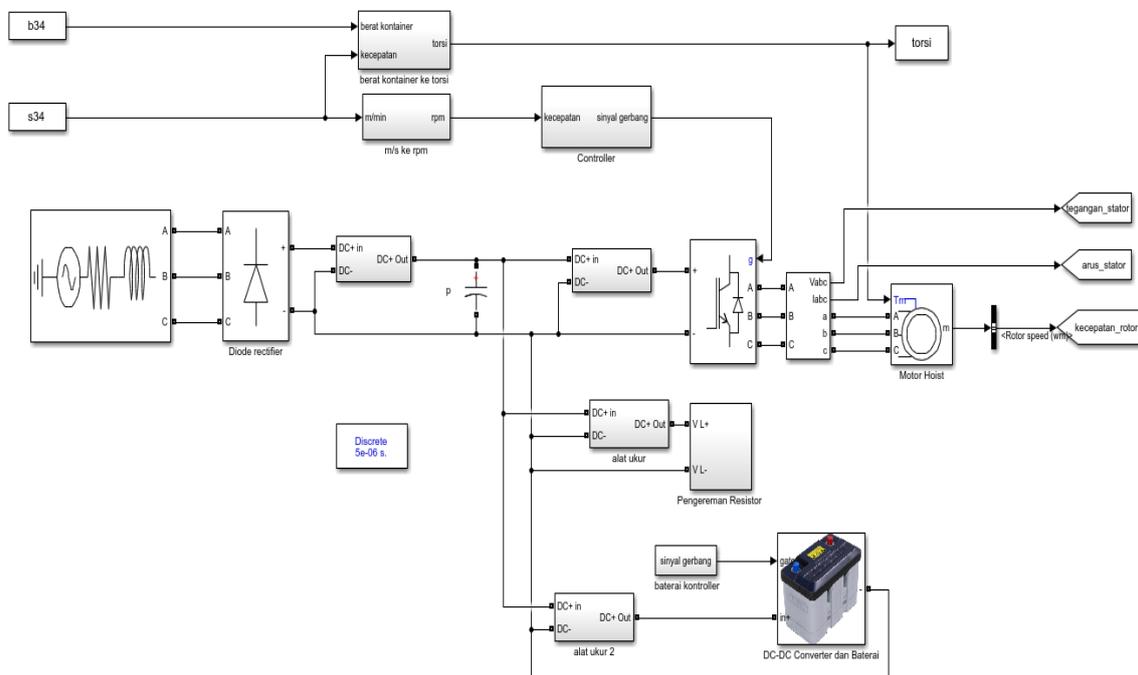
Box B : Lokasi peletakan kontainer

Panah hitam : Gerakan spreader dengan kontainer

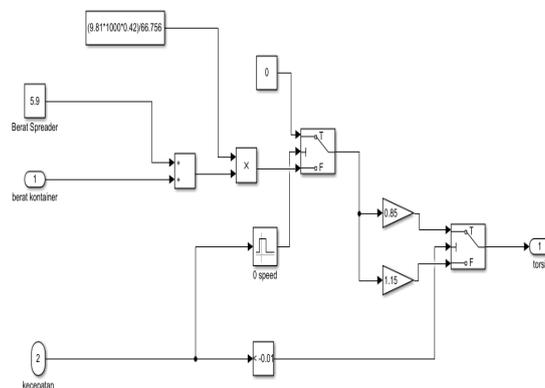
Panah merah : Gerakan spreader tanpa kontainer

C. Pemodelan

Pemodelan *hybrid RTG crane* dapat dilihat pada gambar 3, dimana PLN, motor hoist, rem resistor dan baterai terhubung secara paralel di bus DC sehingga ketiga-tiganya memiliki tegangan yang sama.

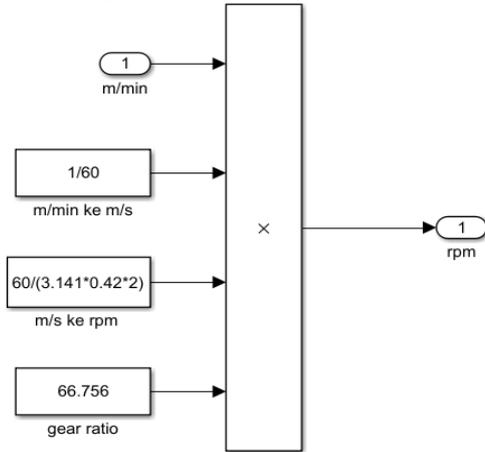


Gambar 3 Pemodelan *Hybrid RTG Crane*



Gambar 4 Blok Diagram Kecepatan Vertikal Ke Kecepatan Putar Motor

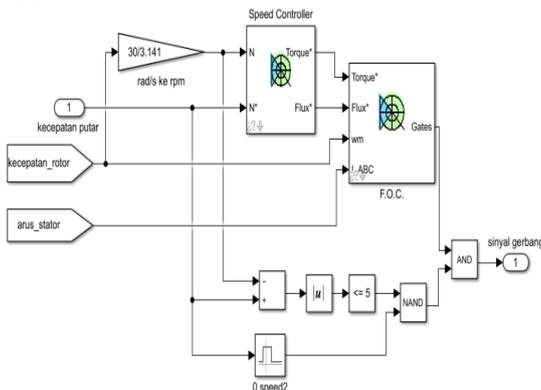
Blok diagram berat ke torsi dapat dilihat pada Gambar 4 Input dari motor hoist adalah torsi dan skenario yang disimulasikan menggunakan berat kontainer sehingga diperlukannya blok diagram ini agar berat kontainer (Ton) diubah menjadi torsi (Nm).



Gambar 5 Blok Diagram Kecepatan Vertikal ke Kecepatan Putar Motor

Blok diagram kecepatan vertikal ke kecepatan putar motor dapat dilihat pada Gambar 5. Pengontrolan motor hoist menggunakan nilai kecepatan putar motor hoist, sehingga dibutuhkan blok diagram ini untuk mengubah kecepatan vertikal spreader (meter/menit) menjadi kecepatan putar motor hoist (rpm).

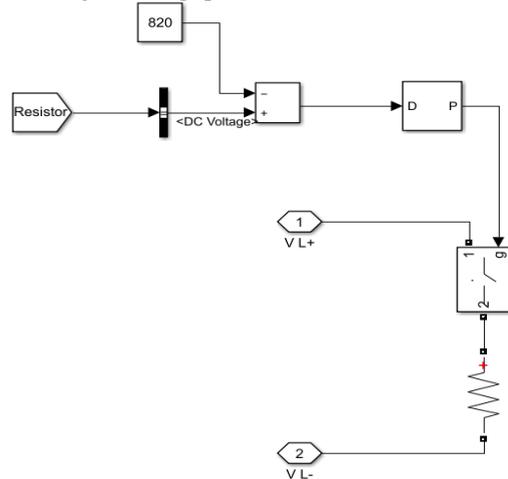
Blok diagram motor controller dapat dilihat pada Gambar 6, Blok diagram ini berfungsi untuk mengontrol gate IGBT yang mengontrol frekuensi arus stator. Dalam blok diagram ini digunakan blok *speed controller* dan blok *field oriented control*. Keduanya merupakan menggunakan metode kontrol PI (*proportional Integral*), pada pemodelan ini digunakan nilai p sebesar 1000 dan i sebesar 0,5. Dengan kontrol pi, pengaturan sinyal gerbang dilakukan dengan membandingkan nilai kecepatan putar referensi (dikendalikan oleh operator RTG crane) dan kecepatan putar motor hoist saat ini. Hasil keluaran dari blok diagram ini adalah sinyal pengontrol yang akan mengatur sinyal gerbang IGBT.



Gambar 6 Blok Diagram Motor Controller

Blok diagram pengereman resistor dapat dilihat pada gambar 7, blok diagram ini berfungsi untuk menyalurkan

energi listrik dari pengereman regeneratif yang kemudian di konversi menjadi energi panas.



Gambar 7 Blok Diagram Pengereman Resistor

D. Baterai dan Konverter DC-DC

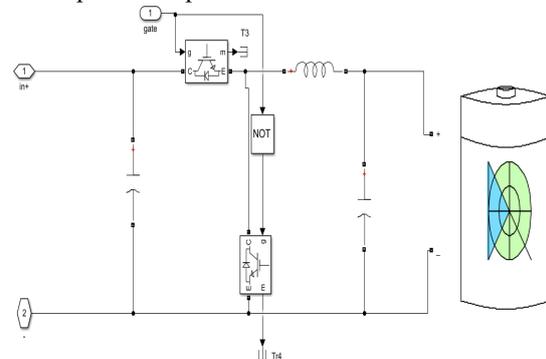
Tabel 2 Spesifikasi Baterai

Kapasitas	105 Ah
Tegangan	3.2 V
Arus charge/discharge	105 A

Tabel 3 Spesifikasi Konverter DC-DC

L	32 μ H
C _{low}	270 μ F
C _{high}	520 μ F
f	20 kHz

Pada pemodelan ini, spesifikasi baterai yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 2. Adapun parameter dari konverter DC-DC dapat dilihat pada tabel 3.



Gambar 8 Blok Diagram DC-DC Converter dan Baterai

Berdasarkan simulasi RTG konvensional dilakukan, daya regeneratif terbesar terjadi ketika RTG crane menurunkan kontainer 34ton yaitu sebesar 134 kW, sehingga untuk menyerap seluruh daya dari pengereman regeneratif maka diperlukannya baterai dengan daya serap minimal sebesar 139 kW. Dalam Pemodelan ini, digunakan 3 jenis *hybrid* dengan parameter yang berbeda. *Hybrid C* memiliki daya tertinggi agar dapat menyerap seluruh daya dari pengereman regeneratif kontainer 34 ton. Sedangkan untuk *hybrid A* memiliki 33% dan *hybrid B* memiliki 66% dari daya *hybrid C*, yang konfigurasi tiap jenis *hybrid* dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Konfigurasi Baterai dan Parameternya

Jenis Hybrid	Konfigurasi		Kapasitas (Ah)	Tegangan (V)	Daya (kW)
	Paralel (unit)	Seri (unit)			
Hybrid A	1	139	105	444,8	46,704
Hybrid B	2	139	210	444,8	93,408
Hybrid C	3	139	315	444,8	140,112

E. Hasil Simulasi

Seiring dengan berat kontainer bertambah, penggunaan daya PLN juga bertambah. Penggunaan RTG crane hybrid lebih sedikit daripada RTG crane konvensional dikarenakan RTG crane hybrid juga menggunakan baterai sebagai sumber energinya. Grafik daya PLN dapat dilihat pada Gambar 9.

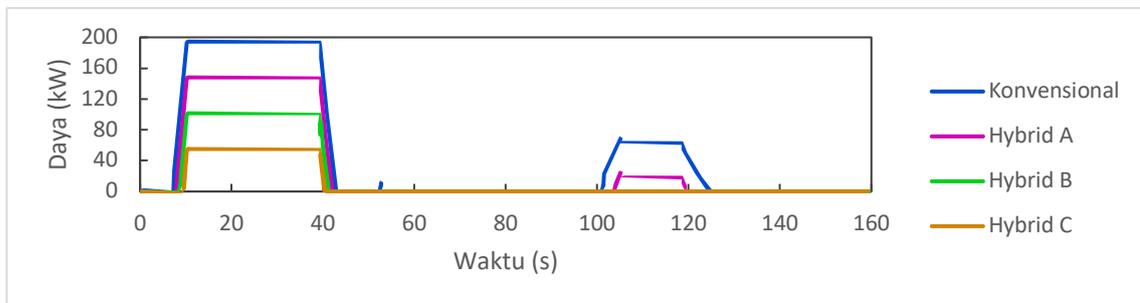
Baterai akan menyalurkan daya ketika gerakan hoist naik dan menyerap daya ketika gerakan hoist turun. Tiap jenis hybrid akan memiliki kemampuan penyaluran dan penyerapan yang berbeda-beda. Grafik daya baterai dapat dilihat pada Gambar 10.

Pada RTG crane konvensional, pengereman resistor akan bekerja ketika gerakan hoist turun. Sedangkan pada RTG crane hybrid, pengereman resistor hanya akan bekerja ketika baterai tidak dapat menyerap semua daya dari pengereman regeneratif dan bus DC telah mencapai tegangan 810 V.

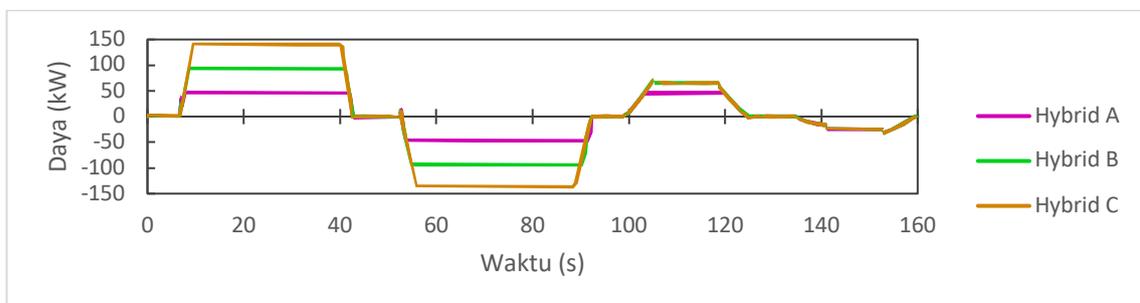
Grafik daya pengereman resistor dapat dilihat pada Gambar 11.

Pada RTG crane konvensional, nilai tegangan bus DC akan berubah-ubah sesuai dengan permintaan daya motor hoist dan memiliki nilai maksimum pada 810 V dikarenakan pengereman resistor bekerja. Pada RTG crane hybrid, Baterai akan menjaga nilai tegangan bus DC konstan pada nilai 610 V. Ketika baterai tidak dapat menyuplai cukup daya untuk motor hoist, maka nilai tegangan dc bus akan menurun. Sedangkan ketika baterai tidak dapat menyerap seluruh daya regeneratif, maka tegangan bus akan naik hingga 810 V dimana pengereman resistor akan bekerja. Grafik Tegangan Bus DC dapat dilihat pada Gambar 12.

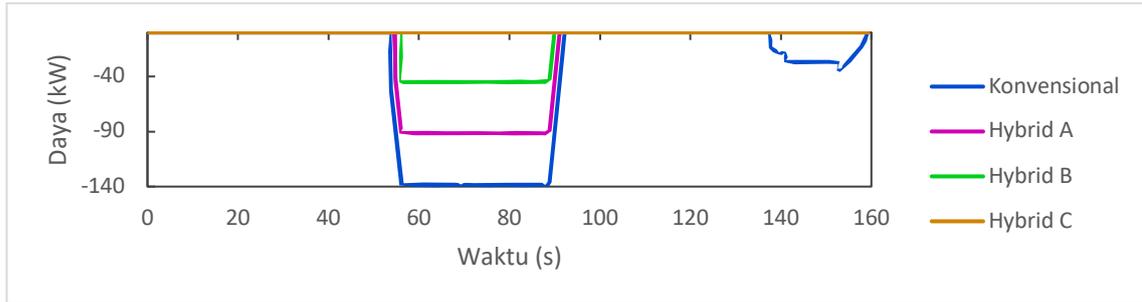
Total Penggunaan energi dalam 1 siklus impor dapat dilihat pada Gambar 13 dan persentase perbandingan penggunaan energi dalam 1 siklus impor dapat dilihat pada Gambar 14.



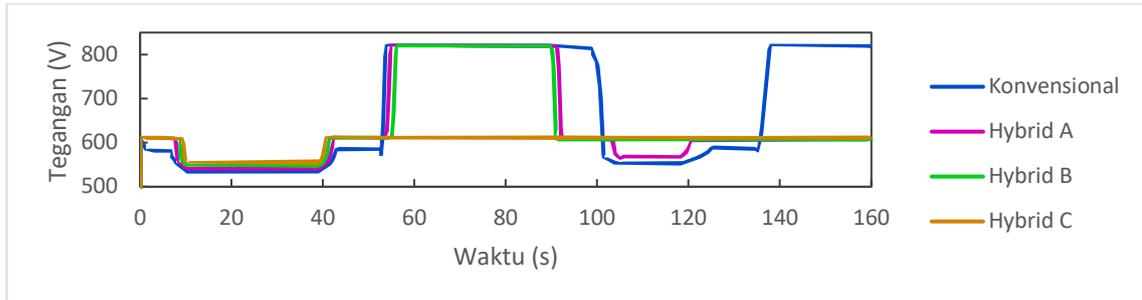
Gambar 9 Grafik Daya PLN Kontainer 34 Ton



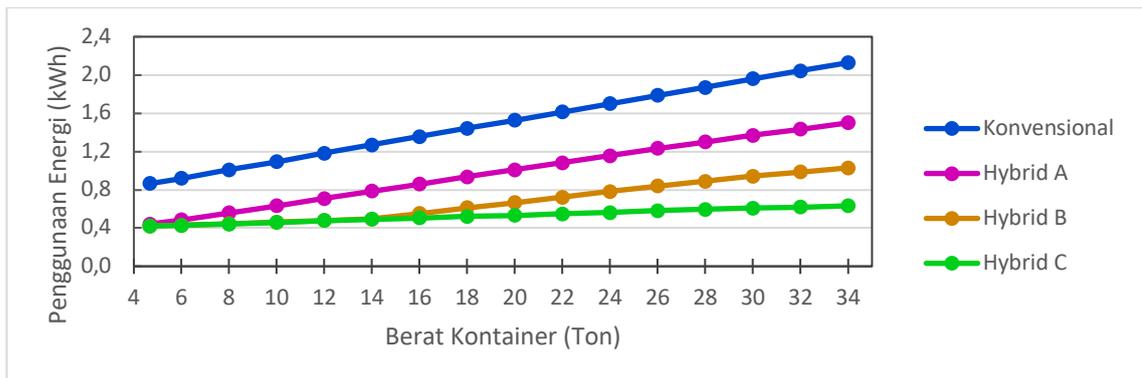
Gambar 10 Grafik Daya Baterai Kontainer 34 Ton



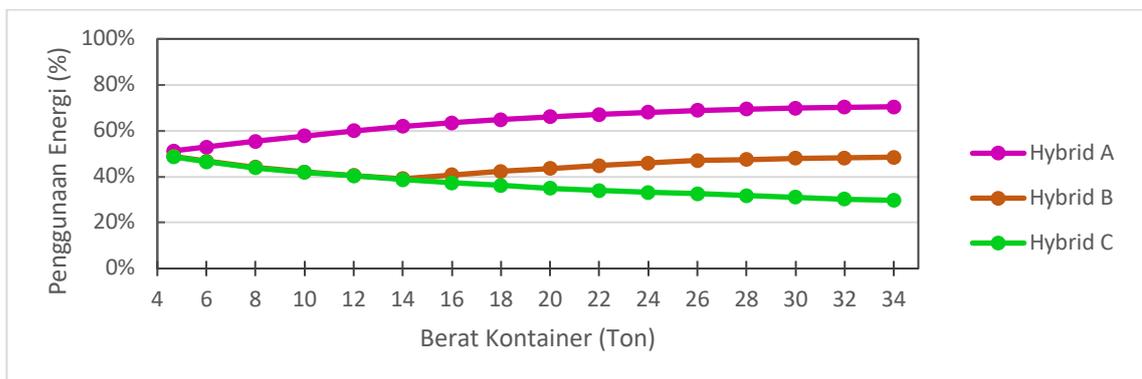
Gambar 11 Grafik Daya Pengereman Resistor Kontainer 34 Ton



Gambar 12 Grafik Tegangan Bus DC Kontainer 34 Ton



Gambar 13 Total Penggunaan Energi



Gambar 14 Persentase Penggunaan Energi

V. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Berdasarkan simulasi yang dilakukan, untuk menyerap seluruh daya pengereman regeneratif maka di butuhkan baterai dengan daya serap minimal 139 kW.

2. Berdasarkan simulasi yang dilakukan, daya puncak untuk PLN adalah 198 kW, daya puncak baterai adalah 140 kW (disalurkan) dan 135 kW (diserap), daya puncak resistor adalah 139 kW dan tegangan bus DC sebesar 634-820 V.
3. Berdasarkan simulasi yang dilakukan, RTG konvensional menggunakan energi sebesar 0,864-2,128 kWh, *hybrid A* menggunakan energi sebesar 0,443-1,499 kWh, *hybrid B* menggunakan energi sebesar 0,422-1,029 kWh, dan *hybrid C* menggunakan energi sebesar 0,42-0,632 kWh.

VI. REFERENSI

- [1]. Bolonne, S. R., & Chandima, D. 2018. Modeling and Simulation of an Electromechanical System for a *Hybrid Rubber Tire Gantry Crane*. 2018 2nd *International Conference On Electrical Engineering (EECon)*.
- [2]. Pietrosanti, S. 2018. *Supervisory Control Of Energy Storage In Rubber Tyred Gantry Cranes*. UK: University of Reading.
- [3]. Wijaya, M. 2001. *Dasar-dasar Mesin Listrik*. Jakarta: Djambatan.
- [4]. Sen, P. C. 2014. *Principles of Electric Machines and Power Electronics*. Queen's University: Wiley.
- [5]. Rashid, M. H., Kumar, N., & Kulkarni, A. R. 2014. *Power Electronics Devices, Circuits, and Applications Fourth Edition*. Delhi: Pearson.
- [6]. Aditya, T. 2013. Research to study Variable Frequency Drive and its Energy Savings . *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 253-256.
- [7]. Ceder, G., Hautier, G., Jain, A., & Ong, S. 2012. Recharging lithium battery research with first-principles methods. *MRS Bulletin*, 185-191.