



Pengereman Dinamik *Motor DC Hoist* Pada Pengoperasian *Container Crane*

Rukmini¹, Mochamad Abduh², Pierre Marcello Lopulalan³

^{1,2}Politeknik Pelayaran Barombong

³Poltektrans SDP Palembang

Info Artikel :

Diterima, 01 September 2022
Direvisi, September 2022
Dipublikasikan, 30 September 2022

Keyword:

Motor hoist
Container Crane
Resistor bank

Kata Kunci:

Motor Hoist
Container Crane
Pengereman Dinamik

ABSTRACT

Container cranes as loading and unloading equipment at container terminals use electric motors to lift and move containers. Container cranes can move containers in three motions using a motor hoist, trolley and gantry. Motor hoist is used to raise and lower containers, has the largest capacity. In general, the main hoist motor uses a DC motor, as is the case with seven (7) CCs at the Makassar container terminal. When the cycle of lowering the load (container) by the main hoist motor, a braking process is needed both electrically and mechanically. In this study, the dynamic braking characteristics (using a resistive load) of the CC hoist motor were modeled. Electric braking by connecting the electric output through a DC motor, the motor dynamo current turns into a generator to go to the resistor bank (a current in the DC motor dynamo coil will form in the field of the emf coil which will slow down the rotation of the motor that has turned into a generator). Mechanical braking is by locking the disc brake. From the results of the analysis, it can be concluded that there is dynamic (resistive) braking, the electric current flowing to the resistor makes the armature voltage generated by the motor that has changed its function to a generator will decrease due to the voltage drop on the resistor used for braking.

ABSTRACT

Container crane sebagai peralatan bongkar muat pada terminal peti kemas menggunakan motor listrik untuk mengangkat dan memindahkan peti kemas. Container crane dapat memindahkan kontainer dalam tiga gerakan dengan menggunakan motor *hoist*, troli, dan gantry. Motor *hoist* digunakan untuk menaikkan dan menurunkan kontainer, memiliki kapasitas terbesar. Pada umumnya motor main hoist adalah menggunakan motor DC, seperti halnya yang bekerja pada tujuh (7) buah CC terminal peti kemas Makassar. Saat siklus menurunkan beban (container) oleh motor main hoist, dibutuhkan suatu proses pengereman baik secara elektrik dan mekanik. Pada penelitian ini, dimodelkan karakteristik pengereman dinamik (yang menggunakan beban resistif) motor *hoist* CC. Pengereman listrik dengan menghubungkan output listrik melalui motor DC arus dinamo motor berubah menjadi generator untuk menuju bank resistor (arus dalam kumparan dinamo motor DC akan terbentuk pada bidang kumparan emf yang akan memperlambat putaran motor yang telah berubah menjadi generator). Pengereman mekanik adalah dengan mengunci disc brake. Dari hasil analisis diperoleh kesimpulan bahwa ada pengereman dinamik (resistif), arus listrik mengalir menuju resistor membuat tegangan armatur yang dihasilkan oleh motor yang telah berubah fungsi menjadi generator akan berkurang karena adanya jatuh tegangan pada resistor yang digunakan untuk pengereman.



This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. ©2019 by author.

Koresponden:

Rukmini

Email: rukmini12mn@gmail.com

Pendahuluan

Container crane sebagai peralatan bongkar muat pada terminal peti kemas menggunakan beberapa motor listrik sebagai penggerakannya. Untuk mengangkat dan memindahkan peti kemas yang berbobot puluhan ton ini, dibutuhkan motor-motor listrik berdaya besar. Pada proses bongkar muat antara kapal dengan dermaga, crane mengkonsumsi bagian besar dari total konsumsi energi pada operasi terminal peti kemas dan oleh karena itu merupakan masalah penting. *Container crane* menjadi peralatan pengonsumsi energy listrik terbesar di terminal peti kemas. *Container crane*, seperti *crane RTG* merupakan kontributor emisi pelabuhan berbasis diesel. *Crane* ini menggunakan mesin diesel digabungkan ke alternator yang menyediakan daya listrik untuk perangkat *hoist*, *trolley*, dan *motor gantry*.

Container crane dapat memindahkan kontainer dalam tiga gerakan dengan menggunakan *motor hoist*, *trolly*, dan *gantry*. Motor hoist digunakan untuk menaikkan dan menurunkan kontainer, motor trolley memindahkan kontainer dari depan ke belakang dan sebaliknya, dan motor gantry digunakan untuk memposisikan seluruh badan crane dari kiri ke kanan.

Di antara beberapa motor penggerak yang ada pada *container crane*, motor main hoist adalah motor yang memiliki kapasitas terbesar. Pada umumnya motor main hoist adalah menggunakan motor DC, seperti halnya yang bekerja pada tujuh (7) buah CC terminal peti kemas Makassar.

Container crane yang menggunakan energi besar pada terminal peti kemas untuk menggerakkan motor-motor listrik, dalam operasinya tentunya juga mengalami proses pengereman. Hal ini terutama saat siklus menurunkan beban (*container*) oleh motor *main hoist*. Setiap motor listrik berputar

memiliki dua operasi mekanik, bergerak / berputar dan pengereman.

Untuk saat ini pengereman motor *hoist container crane* yang ada pada terminal peti kemas Makassar secara elektrik menggunakan jenis pengereman dinamik. Pengereman dinamik menggunakan resistor untuk mengalirkan arus yang dihasilkan oleh perubahan fungsi motor menjadi generator pada saat proses penurunan beban *container*.

Tujuan Penelitian

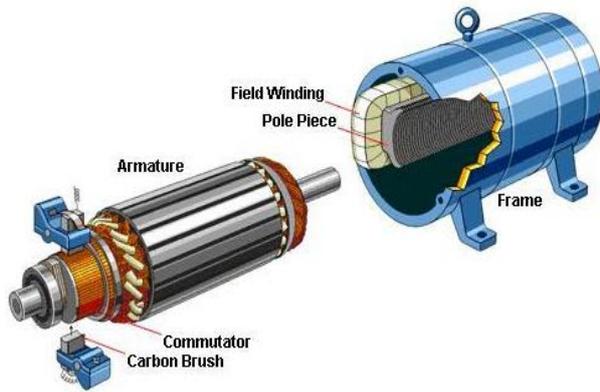
- Menganalisa karakteristik dinamik pengereman *motor hoist container crane*.
- Memodelkan sistem pengereman dinamik *motor hoist container crane*.

Tinjauan Literatur

a. Pengereman Motor DC shunt

Beberapa terminal kontainer menggunakan jenis DC untuk motor hoist CC termasuk pada terminal peti kemas Makassar. Motor DC digunakan pada penggunaan khusus dimana diperlukan penyalan *torque* yang tinggi atau percepatan yang tetap untuk kisaran kecepatan yang luas.

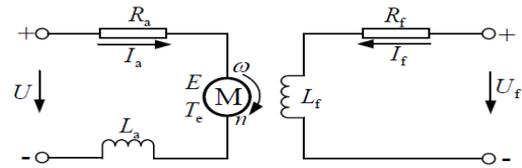
Berikut Gambar Model motor DC yang menggunakan sikat arang :



Gambar 1. Model motor DC yang menggunakan sikat arang

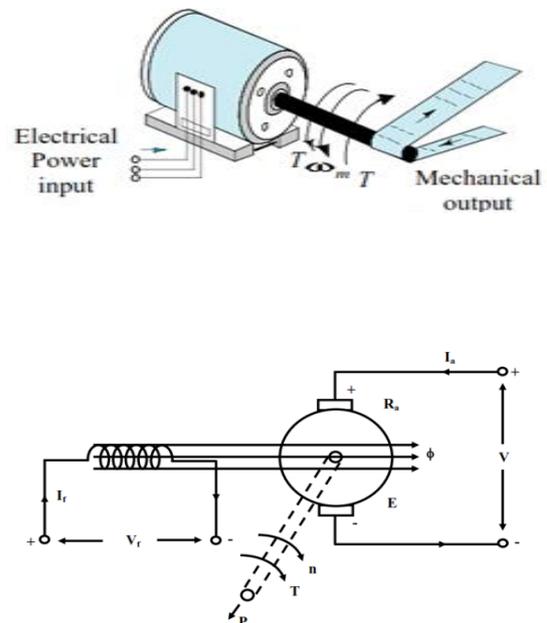
Torsi pada motor listrik diproduksi karena interaksi antara medan elektromagnetik. Torsi dan medan elektromagnetik yang terkait sesuai dengan gaya Lorentz. Motor DC menghasilkan tenaga disupply dengan arus searah, dan untuk mendapatkan rotasi dari medan magnet dibutuhkan sesuatu yang mengubah arah arus melalui kumparan. Hal ini dicapai dengan penggunaan komutator, yang berputar bersama-sama dengan rotor, dan terbagi dalam dua bagian (motor dua kutub). Setiap bagian secara permanen terhubung dengan sikat yang mendorong arus ke rotor, dan karena perubahan posisi di komutator, arus berjalan melalui kumparan armatur di arah yang berbeda setiap kali akan menghasilkan medan magnet berputar.

Mengacu pada rangkaian setara dengan motor DC penguat terpisah ditunjukkan pada Gambar. 3. I_a dan I_f adalah arus armatur dan arus field, R_a dan L_a adalah resistansi dan induktansi armatur, R_f dan L_f adalah resistansi dan induktansi field, U dan U_f adalah tegangan armatur dan field, n dan ω adalah kecepatan dalam r/min dan rad/s, E adalah EMF (electromotive force) lawan and T_e adalah torsi elektromagnetik.



Gambar 2. Rangkaian ekuivalen motor DC penguat terpisah

Skema operasi dari motor DC untuk torsi dan tegangan pada gambar 3



Gambar 3. Skema torsi dan tegangan motor DC penguat terpisah

Persamaan untuk motor DC penguat terpisah :

$$E = K_e \Phi n = K_a \Phi \omega = L_a I_f \omega \quad (1)$$

$$T = K_a \Phi I_a \quad (2)$$

$$U = E + R_a I_a \quad (3)$$

Dimana ϕ adalah flux celah udara, K_e dan K_a adalah sesuai struktur motor DC dan L_{af} adalah induktansi bersama armatur-field. Persamaan untuk kecepatan adalah:

$$n = \frac{U}{K_e \phi} - \frac{R_a}{K_e K_e \phi^2} T_e \quad (4)$$

Dan daya adalah

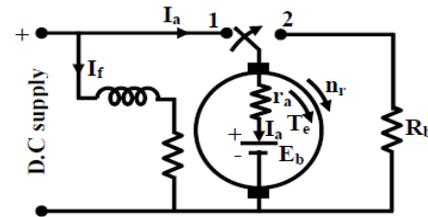
$$P = \omega T = V * I_a - I_a^2 * R_a \quad (5)$$

P adalah daya mekanik, $V * I_a$ adalah daya elektrik dan $I_a^2 R_a$ adalah losses pada konstruksi motor.

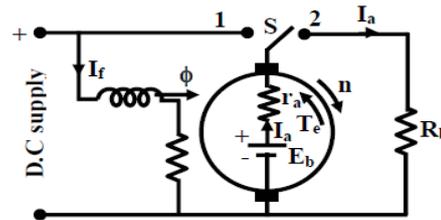
Semua mesin listrik berputar memiliki dua operasi mekanik : bergerak dan pengereman. Pengereman motor dapat dalam beberapa cara yaitu pengereman regeneratif, pembalikan tegangan atau plugging dan pengereman rheostatic (menggunakan external resistor bank) [11].

b. Pengereman Resistor (Dinamik)

Motor DC shunt beroperasi dari supply listrik DC dengan cara mengarahkan saklar S ke posisi 1 seperti pada gambar (4). S adalah saklar satu kutub dengan dua keluaran dan dapat dihubungkan baik untuk posisi 1 atau posisi 2. Sebuah resistansi eksternal R_b dihubungkan ke posisi 2 dari saklar S seperti yang ditunjukkan. Saklar S di posisi 1 maka motor berputar pada n rpm, arus jangkar I_a dan (e.m.f) $E_b = k\phi \times n$, akan timbul secara bersamaan. Saat kondisi mesin listrik DC masih posisi Motor maka polaritas E_b akan bertentangan arah dengan tegangan supply nya. Demikian pula T_e dan n memiliki arah putar yang sama .



Gambar 4. Mesin sebagai Motor



Gambar 5. Mesin sebagai Generator saat Pengereman

Selanjutnya jika S di ke posisi ke 2 pada $t = 0$, maka arus jangkar akan terputus dari supply namun rangkaian itu beralih ke resistansi R_b , dengan kumparan medan tetap mendapatkan energi dari supply listrik DC maka kecepatan rotor tidak dapat berubah secara cepat, nilai emf balik E_b masih dipertahankan dengan polaritas yang sama saat $t = 0^-$. Dengan demikian pada $t = 0^+$, arus motor yang berubah fungsi menjadi generator akan membuat $I_a = E_b / (r_a + R_b)$ dan dengan arah terbalik dibandingkan dengan arah yang berlaku selama mode motorik pada $t = 0^-$.

Jelas untuk $t > 0$, mesin beroperasi sebagai pembangkit listrik, torsi energi mekanik akan menghilang dan diganti menjadi torsi elektromagnetik . T_e akan berlawanan arah dari yang sebelumnya ketika kondisi motor namun ϕ tetap ($T_e \propto \phi I_a$). Dengan berjalannya waktu setelah beralih, maka n akan menurun bersamaan dengan berkurangnya E_b dan I_a . Dengan kata lain nilai pengereman torsi akan tertinggi pada $t = 0^+$, dan menurun secara progresif dan menjadi nol ketika mesin akhirnya berhenti.

Untuk menghentikan putaran motor maka dapat dilakukan dengan memutuskan supply, namun akan membutuhkan waktu lebih lama terutama untuk motor kapasitas besar yang memiliki inersia rotasi tinggi. Karena di sini energi yang tersimpan harus ditiadakan terutama melalui gesekan. Kondisi dapat diubah, dengan menjadikan motor untuk beroperasi sebagai generator saat pengereman. Idenya dapat dipahami mengingat bahwa dalam mode motor maka torsi elektromagnetik sesuai arah rotasi sementara dalam mode generator torsi elektromagnetik dalam arah yang berlawanan arah rotasi. Jadi dengan memaksa mesin untuk beroperasi sebagai generator selama periode pengereman akan timbul torsi yang berlawanan dengan arah rotasi pada poros, sehingga membantu mesin untuk berhenti dengan cepat. Saat pengereman terjadi maka energi yang disimpan di rotor akan dibalikkan secara berlawanan arah. Hal ini dapat dibawa ke sumbernya, ke media pengalihan atau ke tempat penyimpanan energi yang disediakan.

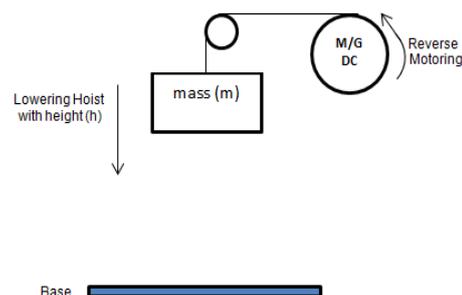
Pergerakan mengangkat (naik) dan menurunkan box container adalah operasi tetap dari sebuah motor main hoist container crane. Ketika container diangkat oleh crane, mesin diesel menyediakan energi yang diminta oleh motor hoist. Ketika container diturunkan, energi potensial yang diubah oleh motor hoist ke dalam bentuk listrik (fungsi generator). Tapi saat ini, energi ini biasanya hilang sebagai panas dalam bank resistor (pengereman dinamik). Hal ini mengurangi efisiensi sistem secara keseluruhan dan peningkatan konsumsi bahan bakar dan tentunya emisi.

Untuk mengangkat (naik) container maka dibutuhkan energi sesuai dengan massa beban dan jarak tempuh (ketinggian) pergerakan benda yang akan diangkat. Motor akan bergerak / berputar untuk mengangkat container (forward motoring,

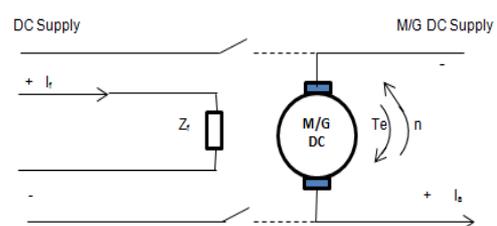
quadrant I). Sedangkan untuk menurunkan container seperti pada gambar 6 dan 7, maka motor hoist akan mengalami pembalikan putaran dari arah sebelumnya saat mengangkat container. Pada kondisi ini, sesuai hukum kekekalan energi maka terdapat energi potensial sesuai dengan beban (massa) container yang akan diturunkan serta jarak pergerakan turun (ketinggian) box container. Energi potensial dapat dihitung dengan persamaan :

$$E_p = m \times g \times (h_2 - h_1) \tag{6}$$

$$P_p = \frac{E_p}{t} \tag{7}$$



Gambar 6. Skema operasi menurunkan beban / reverse motoring



Gambar 7. Reverse motoring menuju ke reverse braking

Dengan energi potensial yang dimiliki pada saat proses penurunan container akan mengakibatkan motor mengalami perputaran arah balik (reverse motoring) yang akan melebihi kapasitas, sehingga harus dilakukan pengereman (reverse braking). Pengereman merupakan salah

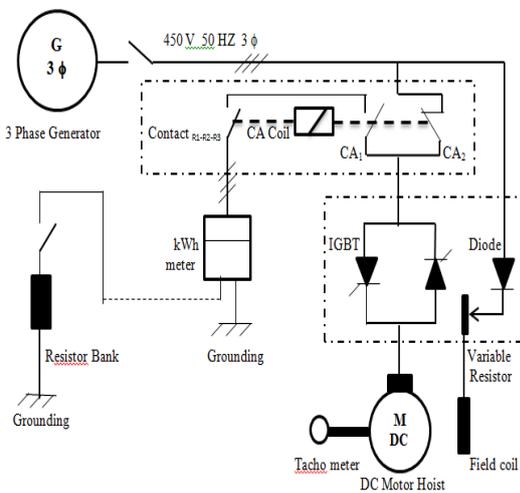
satu kebutuhan untuk memperlambat pergerakan objek ke bawah dan menghapus inersia. Dengan penggunaan secara baik alternator pada motor, polaritas balik dapat diperoleh dan fungsi motor sebagai generator, menghasilkan arus.

Metode

Penelitian dilakukan dalam dua tahap, yaitu :

1. Sesuai tujuan pertama penelitian adalah menentukan karakteristik pengereman motor *dc hoist container crane*.
2. Pada tahap kedua adalah merumuskan model pengereman dinamik *motor hoist container crane*.

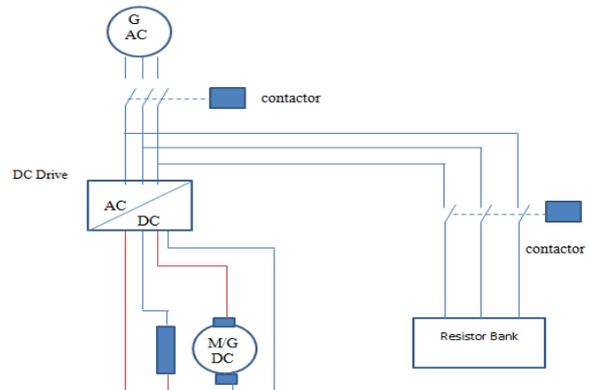
Pada perancangan dibuat diagram untuk menggambarkan suatu kondisi forward reverse motor hoist seperti ditunjukkan pada gambar 8.



Gambar 8. Diagram motor DC hoist

Ketika *container* diangkat oleh *crane*, *generator diesel* menyediakan energi yang dibutuhkan oleh motor hoist. Ketika *container* diturunkan, energi

potensial yang diubah oleh *motor hoist* ke dalam bentuk listrik (fungsi generator).



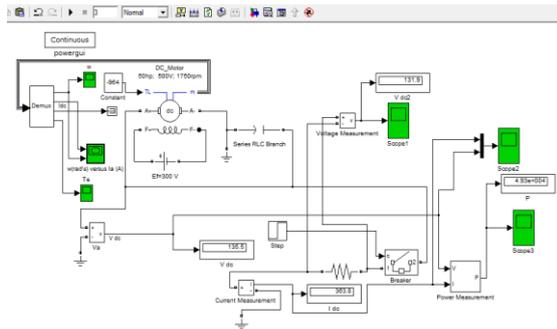
Gambar 9. Diagram daya untuk CC #1 dan #2
 [Data Hasil, 2015]

Eksisting terminal peti kemas Makassar pada motor hoist CC #1 dan #2:

1. Sistem ini menggunakan mesin diesel sebagai penggerak utama untuk rotasi generator AC sebagai catu daya listrik ke *motor CC hoist*. *CC* menggunakan motor DC untuk menggerakkan *hoist*.
2. Sistem pengereman dalam bentuk listrik dan mekanik saat menurunkan kontainer. Pengereman listrik dengan menghubungkan output listrik melalui motor DC arus dinamo motor berubah menjadi generator untuk menuju bank resistor (arus dalam kumparan dinamo motor DC akan terbentuk pada bidang kumparan emf yang akan memperlambat putaran motor yang telah berubah menjadi generator). Pengereman mekanik adalah dengan mengunci *disc brake*.

Hasil dan Pembahasan

Untuk pengereman dinamik yang menggunakan beban resistif, dibuat model seperti pada gambar 10. Resistansi R disetting pada $t=0,2$ detik.

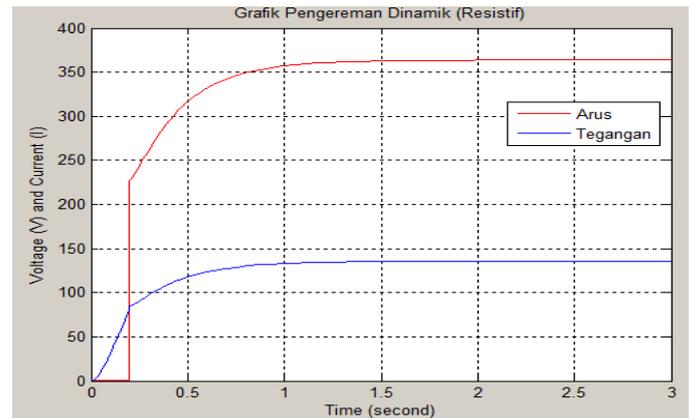


Gambar 10. Model Pengereman Dinamik (Pengujian Resistif) pada output Tegangan DC

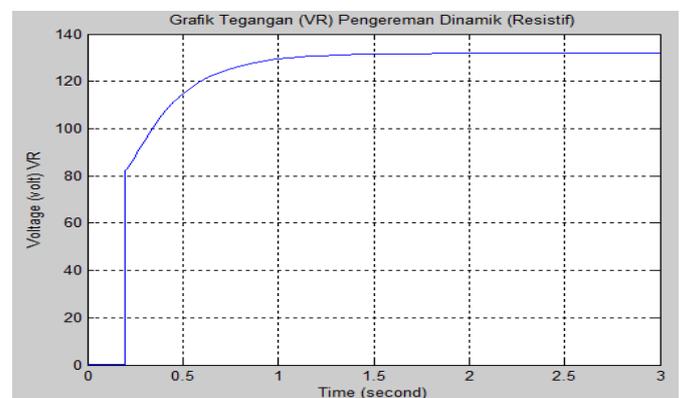
Ketika menurunkan container, torsi beban sampel (-964 Nm) minus diberikan. Dari simulasi seperti pada gambar 10, polaritas terbalik terjadi ketika motor berubah menjadi generator karena arah rotasi telah berubah dari saat bekerja sebagai motor. Step time pengereman resistif, diuji coba dimasukkan pada detik ke 0,2.

Grafik tampilan simulasi pada model gambar 10, diperoleh seperti pada gambar 11 dan 12.

Pada simulasi reverse (mode generator) pengereman dinamik (resistif), gambar 11, terlihat pada detik ke 0,2 saat beban resistif diberikan untuk pengereman maka arus melebihi 200 A langsung mengalir menuju resistor meningkat secara signifikan hingga pada detik ke 1,5 diperoleh arus yang konstan. Demikian pula tegangan armatur, mulai $t=0$ detik hingga saat detik ke 0,2 tegangan meningkat secara signifikan. Namun tepat pada $t=0,2$ detik peningkatan mengalami sedikit perubahan karena tegangan telah terbagi ke beban resistif. Peningkatan tetap ada namun pada saat $t=1,5$ detik tegangan sudah cenderung konstan.



Gambar 11. Grafik Tegangan dan Arus sebagai fungsi Waktu pada Pengereman Dinamik



Gambar 12. Grafik Tegangan Resistif sebagai fungsi Waktu pada Pengereman Dinamik

Untuk jatuh tegangan pada resistor (tegangan resistif) baru diperoleh pada saat $t=0,2$ detik yang nilainya langsung melebihi 80 volt. Meingkat secara signifikan hingga $t=1,5$ detik. Setelahnya maka tegangan resistif cenderung konstan.

Kesimpulan

Berdasarkan uraian hasil yang diperoleh dari penelitian ini maka kesimpulan yang diperoleh adalah bahwa pada pengereman dinamik (resistif), arus listrik mengalir menuju resistor yang digunakan yang mana akan menaikkan tegangan resistif (jatuh tegangan) pada resistor. Hal ini secara otomatis membuat tegangan armatur yang

dihasilkan oleh motor yang telah berubah fungsi menjadi generator akibat efek perubahan arah rotasi saat container bergerak ke bawah (penurunan). Maka tegangan armatur tersebut tentunya akan berkurang karena adanya jatuh tegangan pada resistor yang digunakan untuk pengereman.

Referensi

[http://ijera.com/pages/v5no3\(v4\).html](http://ijera.com/pages/v5no3(v4).html). ISSN :

2248-9622, Vol. 5, Issue 3, (Part -4) March 2015, pp.29-34.

Aravind Samba Murthy, *Analysis of regenerative braking in electric machines*, thesis, School of Electrical and Computer Engineering, Georgia Institute of Technology, May 2013.

Austin Hughes, *Electric Motors and Drives, Fundamentals, Types and Applications*, Third edition, Newnes is an imprint of Elsevier, Third edition 2006.

Dubey, G. K., *Fundamentals of Electrical Drives*. Alpha Science International, Ltd., 2002

Eloy Pedro Sánchez Caton, *Dynamic braking a new approach for testing electrical machines*, Division of Industrial Electrical Engineering and Automation, Faculty of Engineering, Lund University CODEN:LUTEDX/(TEIE-5292)/165/(2012).

Guoqiang Chen and Xianguang Shang, *Simulation used in education for a separately excited DC motor*, Henan Polytechnic University , Jiaozuo City, People's Republic of China, *World Transactions on Engineering and Technology Education* 2014 WIETE Vol.12, No.1, 2014.

Hadi sutanto saragi, yuningtyastuti, *sistem operasi container crane (cc) di terminal peti kemas semarang*

Lesson 39, D.C Motors. Version 2 EE IIT, Kharagpur

Lynn Vanheule, et al; *Creating a sustainable harbour making use of regenerative braking and renewable energy sources*.

M. Flynn, P. McMullen, Solis, High-speed flywheel and motor drive operation for energy recovery in a mobile gantry crane, *Center for Electro mechanics, University of Texas, VYCON, Inc. 12880 Moore Street, Cerritos, CA 90703*, O. Solis. VYCON, Inc. 12880 Moore Street , Cerritos, CA 90703.

Mark M. Flynn, Patrick McMullen, & Octavio Solis, "Energy recovery and emission cutting in a mobile gantry crane," IEEE Industry Applications Magazine Nov / Dec 2008.

Pedoman Efisiensi Energi untuk Industri di Asia – www.energyefficiencyasia.org.

Peralatan Energi Listrik: Motor Listrik <http://www.electricalknowhow.com/2012/05/classification-of-electric-motors.html>

Rukmini et al, Forward And Reverse Motoring Of Dc Hoist Motor On Container Crane (CC) Operation, *International Journal Of Engineering Research And Applications (IJERA)*

Saanan, Y., Johnson, D. and de Waal, A, "How simulation modeling can support environmental initiatives at container terminals," In : *Port Technology International*, pp. 66–69, 2006.