



## Perencanaan Kapasitas Transformator Pada Elektrifikasi *Container Crane* Untuk Operasi Bongkar Muat

Edy Setiawan<sup>1</sup>, Annas Singgih Setiyoko<sup>2</sup>, Galih Anindita<sup>3</sup>, Yudi Andika<sup>4</sup>, Evi Nafiatu Sholikhah<sup>5</sup>

<sup>1,2</sup>Jurusan Teknik Kelistrikan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

<sup>3,5</sup>Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

<sup>4</sup>Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

<sup>1</sup>edy\_setiawan@ppns.ac.id\*, <sup>2</sup>asinggihs@ppns.ac.id, <sup>3</sup>galih.talnabnof@ppns.ac.id\*, <sup>4</sup>yudi.andika@ppns.ac.id,

<sup>5</sup>evinafiatu@ppns.ac.id

### Abstract

A port stevedoring system includes all cargo handling components or equipment that support the loading and unloading process, both from ship to port and vice versa. In port handling, this involves unloading from the ship using cranes and ship slings to the nearest land, commonly known as a dock. Cranes are tools used to lift and move materials that also require electrical energy. For this reason, an electrical power source is required for loading and unloading operations. The need for electrical resources required is also used in determining the capacity of the installed distribution transformer. To determine all of that based on the existence of the load used as the main reference in the expected electrical load. Loads are classified according to their nature, namely, continuous and intermittent. Intermittent load depends on the work cycle factor that can be added to the continuous load to get the average load. The electrical load is determined based on the above concept, with a margin of 30% above the average load to incorporate load changes in the user framework during development and implementation of future changes. Based on the results of field studies on loading and unloading operations in Surabaya which is the location of this research, it shows that the transformer installed on the Container Crane (T4 2500 kVA/20/6.6 kV) and the transformer installed on the RTG Crane (T1 1250 kVA/20/0.4 kV) are in accordance with the transformer capacity that should be.

Keywords: Container Crane, Transformer, Electrical Power, Electrical Load, Efficiency

### Abstrak

Sistem bongkar muat pelabuhan mencakup semua komponen atau peralatan penanganan muatan yang mendukung proses bongkar muat baik dari kapal ke pelabuhan maupun sebaliknya. Dalam penanganan pelabuhan, ini melibatkan pembongkaran dari kapal dengan memakai *crane* dan *sling* kapal ke daratan terdekat, umumnya dikenal sebagai dermaga. *Crane* adalah alat yang digunakan untuk mengangkat dan memindahkan material yang juga membutuhkan energi listrik. Untuk itu diperlukan sumber daya listrik untuk kegiatan operasional bongkar muat. Kebutuhan sumber daya listrik yang diperlukan, digunakan juga dalam menentukan kapasitas transformator distribusi yang terpasang. Untuk menentukan semua itu berdasar keberadaan beban yang digunakan sebagai acuan utama dalam beban listrik yang diharapkan. Beban diklasifikasikan sesuai dengan sifat, yaitu *continue* dan **terputus-putus** (*intermittent*). Beban terputus-putus (*intermittent*) tergantung faktor siklus kerja yang dapat ditambahkan pada beban kontinyu untuk mendapatkan beban rata-rata (*average load*). Beban listrik ditentukan berdasarkan konsep di atas, dengan margin ditambah 30% di atas beban rata-rata dengan memasukkan perubahan beban pada kerangka pemakai pada saat pengembangan dan implementasi perubahan diwaktu mendatang. Berdasarkan hasil studi lapangan pada operasional bongkar muat di Surabaya yang menjadi lokasi penelitian ini, menunjukkan transformator yang terpasang pada *Container Crane* (T4 2500 kVA/20/6,6 kV) dan transformator yang terpasang pada *RTG Crane* (T1 1250 kVA/20/0,4 kV) sudah sesuai dengan kapasitas transformator yang seharusnya.

Kata kunci: *Container Crane*, Transformer, Daya Listrik, Beban Listrik, Effisiensi

Diterima Redaksi : 08-05-2025 | Selesai Revisi : 04-07-2025 | Diterbitkan Online: 31-12-2025

### 1. Pendahuluan

Pelabuhan adalah suatu tempat yang terdiri atas daratan dan perairan di sekitar pelabuhan, dengan batas-batas tertentu dan sebagai tempat kegiatan pemerintahan dan

perekonomian yang digunakan sebagai tempat sandar kapal, menaikkan dan menurunkan penumpang dan/atau digunakan untuk bongkar muat yang dilengkapi peralatan dan fungsi keamanan maritim, dukungan pelabuhan dan ruang untuk transportasi intra dan antar moda transportasi [1]. Sistem bongkar muat pelabuhan mencakup semua komponen atau peralatan penanganan muatan yang mendukung proses bongkar muat baik dari kapal ke pelabuhan maupun sebaliknya [2], [3]. Dalam penanganan pelabuhan, ini melibatkan pembongkaran dari kapal dengan memakai *crane* dan *sling* kapal ke daratan terdekat, umumnya dikenal sebagai dermaga. *Crane* adalah alat yang digunakan untuk mengangkat dan memindahkan material. *Crane* digunakan untuk mengangkat beban secara bersamaan secara vertikal dan horizontal serta menaikkan atau menurunkan beban ke posisi yang telah ditentukan. Yaitu, bagian utama *crane* disajikan sebagai berikut:

a. *Machinery House*

*Machinery House* adalah tempat motor listrik utama menggerakkan *container crane* dan semua peralatan pendukung, seperti transformator, konverter, dan pengontrol logika yang dapat diprogram.

b. *Jib/Lengan Crane*

Lengan *Crane* adalah bagian dari *mobile crane* yang dapat berputar hingga 360 derajat. Fungsinya adalah sebagai kabel selempong yang berguna untuk mengangkat material atau beban. Bagian ini terbuat dari elemen besi yang dihubungkan dalam rangka batang. Adapun panjang, tergantung pada kapasitas angkat beban maksimum.

c. *Trolley*

*Trolley* adalah bagian yang digunakan untuk mengangkat *spreader* ke atas dan ke bawah serta ke depan dan ke belakang.

d. *Spreader*

*Spreader* adalah bagian yang digunakan untuk mengangkat peti kemas dari dermaga ke kapal dan sebaliknya. *Spreader* memiliki ukuran yang dapat diatur sesuai dengan jalur *spreader* untuk menaikkan dan menurunkan *container* yang akan diangkat.

e. *Operator Cab's*

Pada *mobile crane* juga terdapat operator *cab's* yang dapat mengoperasikan *mobile crane* itu sendiri. Untuk mengontrol *mobile crane*, terdapat beberapa *joystick* di dalam kabin operator.

f. *Hoist*

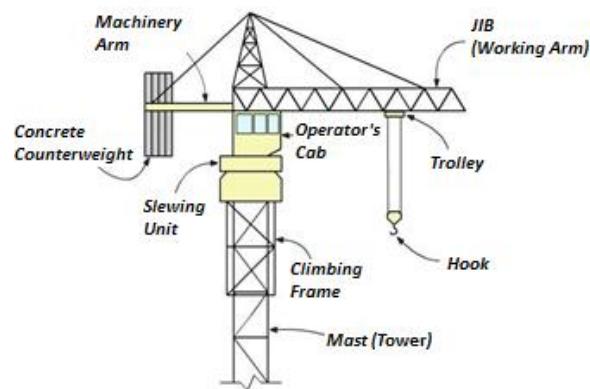
*Hoist* adalah bagian dari *crane* yang digunakan untuk mengangkat beban secara vertikal.

g. *Sling*

Untuk memasang *crane* ke material atau beban, diperlukan kabel baja atau *sling*. Panjang *sling* ini akan bervariasi tergantung dari kapasitas *mobile crane* itu sendiri.

h. *Mast*

*Mast* adalah bagian dari *mobile crane* yang digunakan untuk mengatur ketinggian lengan *crane*. Menggunakan tenaga hidrolik, tiang bergerak vertikal sambil menyesuaikan ketinggian lengan *crane*. *Mast* juga merupakan tempat untuk menyangga kabel penyeimbang dari *crane*, *pulley* dan *hoist*.



Gambar 1. Bagian-Bagian *Crane* [4], [5]

Bongkar Muat sebagaimana yang telah diatur dalam pasal 2 Peraturan Menteri Perhubungan Nomor PM.60 Tahun 2014 adalah kegiatan usaha bongkar muat barang dari dan ke kapal di pelabuhan yang mekanismenya meliputi *stevedoring*, *cargodoring*, dan *receiving/delivery* dan dilaksanakan oleh badan usaha yang memiliki izin usaha dan didirikan khusus untuk bongkar muat.

Penyelenggaraan bongkar muat di pelabuhan dilaksanakan dengan menggunakan peralatan bongkar muat yang telah memiliki layak operasi, menjamin keselamatan kerja, dan dilaksanakan oleh tenaga kerja yang wajib memiliki sertifikat kompetensi. Bongkar muat mempunyai tiga kegiatan pokok yaitu;[6]

- a. *Stevedoring*, pekerjaan membongkar barang dari kapal ke dermaga/ tongkang/truck atau memuat barang dari dermaga/ tongkang/ truck kedalam kapal sampai dengan tersusun dalam palka kapal dengan menggunakan *crane* kapal atau *crane* darat.
- b. *Cargodoring*, pekerjaan melepaskan barang dari tali atau jala-jala didermaga dan mengangkut dari dermaga ke gudang atau lapangan penumpukan barang atau sebaliknya.
- c. *Receiving/Delivery*, pekerjaan memindahkan barang dari timbunan tempat penumpukan digudang atau lapangan penumpukan dan menyerahkan sampai tersusun di atas kendaraan dipintu gudang/ lapangan penumpukan atau sebaliknya

Sedangkan pada Pada *container crane* sendiri, beberapa komponen kelistrikan yang beroperasi adalah sebagai berikut:[4]

1. Transformator, sebuah perangkat listrik yang dapat mentransmisikan dan mengubah energi listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik ke sirkuit listrik lainnya melalui kopling magnetik, dan didasarkan pada prinsip induksi elektromagnetik. Trafo banyak digunakan, baik di bidang listrik maupun elektronik. Penggunaan trafo dalam sistem catu daya memungkinkan untuk memilih kapasitas yang tepat dan ekonomis untuk setiap kebutuhan seperti persyaratan tegangan tinggi untuk memberi daya pada jarak jauh. Transformator bekerja berdasarkan Hukum *Ampere* dan Hukum *Faraday*, dimana jika salah satu belitan transformator dialiri arus bolak-balik (*alternating current*), maka akan muncul garis gaya magnet yang bervariasi. Akibatnya akan terjadi induksi pada sisi kumparan primer. Pada sisi kumparan sekunder, garis medan magnet pada sisi primer juga akan berubah, sehingga akan terjadi induksi pada sisi sekunder juga. Dari peristiwa ini, antara kedua ujung kumparan (*coil*) akan terjadi beda potensial.
2. Motor Arus Bolak Balik 3 Phasa, perangkat listrik yang digunakan untuk mengubah daya AC tiga fasa menjadi energi mekanik. Motor AC tiga *fasa*, juga dikenal sebagai motor *asinkron* tiga *fasa*, adalah motor listrik yang menggunakan sumber tegangan tiga *fasa* dan kemudian dihubungkan ke motor. Motor *asinkron* tiga fasa merupakan jenis motor listrik yang paling banyak digunakan di industri, karena motor *asinkron* tiga *fasa* memiliki sejumlah keunggulan dalam penggunaannya terutama di dunia industri. Beberapa keuntungan menggunakan motor jenis ini antara lain konstruksinya yang kokoh dan sederhana, biaya yang relatif lebih murah, perawatan yang lebih mudah, dan sejumlah keunggulan lainnya. Prinsip operasi motor *asinkron* tiga *fasa* adalah ketika tegangan diberikan pada *stator*, *stator* akan menghasilkan *fluks* magnet yang menyebabkan medan magnet berputar. Kemudian medan putar akan memotong konduktor pada *rotor*. Selain itu, gaya gerak listrik akan dihasilkan oleh konduktor. Gaya gerak listrik induksi ini terjadi karena adanya perbedaan nilai antara medan putar *stator* (*ns*) dan kecepatan putar *rotor* (*nr*). Karena *rotor* dan *stator* adalah sirkuit tertutup, gaya gerak listrik akan menghasilkan arus yang menyebabkan gaya diterapkan pada *rotor* sehingga *rotor* akan berputar.
3. Motor Arus Searah, suatu alat listrik yang digunakan untuk mengubah energi arus searah (*direct current*) menjadi energi mekanik. Prinsip kerja motor DC adalah jika belitan jangkar dialiri arus dan kumparan medan dikuatkan, maka akan terjadi gaya *Lorentz* yang bekerja pada setiap sisi belitan jangkar. Gaya *Lorentz* pada motor DC dinyatakan dengan aturan tangan kiri, di mana ibu jari menunjukkan arah gaya (*F*), indeks menunjukkan arah medan magnet (*B*), dan sendiri menunjukkan arah gaya. arah gaya arah arus (*I*).
4. Penyearah 3 Fasa Terkontrol Penuh, sebuah rangkaian yang mampu mengubah tegangan AC menjadi tegangan DC. Salah satu komponen utama penyearah terkontrol adalah *thyristor* atau biasa dikenal dengan SCR (*Silicon Controlled Rectifier*) yang merupakan komponen penyearah yang dapat mengontrol tegangan keluaran DC. Penyearah terkontrol dapat dibagi menjadi penyearah terkontrol penuh dan penyearah setengah terkontrol. Penyearah ini dapat digunakan untuk mengatur kecepatan motor DC.

Pada *Machinery House* ada peralatan pendukung yaitu transformator. Pemilihan transformator harus disesuaikan dengan kebutuhan agar mendapatkan efisiensi yang optimal. Jika kapasitas transformator yang dipilih terlalu besar maka faktor beban menjadi kecil dan efisiensi rendah (disebabkan sifat beban yang tidak stabil atau *fluktuatif* yang akan mengakibatkan timbulnya rugi-rugi pada inti besi transformator) dapat menyebabkan panas dan dapat menyebabkan umur trafo berkurang [7], [8]. Standar *IEC* (*International Electrotechnical Commission*) menetapkan umur transformator 20 tahun apabila dibebani 100% dari nilai rating daya transformator pada suhu sekitar 20°C dengan titik suhu panas pada belitan mencapai 98°C [9]. Sehingga pada kasus ini akan melakukan perencanaan kapasitas transformator yang terpasang sesuai dengan profil pembebanannya pada operasional bongkar muat.

## 2. Metode Penelitian

Untuk menyelesaikan penelitian ini, metode yang digunakan adalah merumuskan permasalahan lapangan, melakukan studi literatur peralatan, survey lapangan dan melakukan wawancara, selanjutnya melakukan analisa hasil berdasar data-data yang didapatkan baru setelah itu memberikan kesimpulan.

### 2.1 Pengambilan Data

Dilakukan dengan cara *observasi*, meminta langsung pada perusahaan dan melakukan wawancara langsung pada narasumber yang dianggap mampu dan paham mengenai objek yang dibahas. Berikut adalah data-data yang diperlukan:

- ❖ Spesifikasi *container crane*
- ❖ Lama waktu proses bongkar muat

- ❖ Daya listrik yang dibutuhkan dalam proses bongkar muat
- ❖ Kapasitas daya listrik yang harus dikeluarkan dalam proses bongkar muat
- ❖ Spesifikasi kabel dan busbar
- ❖ Single line diagram
- ❖ Kapasitas daya *supply*

## 2.2 Analisis Data

Analisis yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- ❖ Perhitungan beban motor listrik *container crane* dan komponen listrik lainnya
- ❖ Perhitungan wiring diagram junction power (arus nominal dan arus *starting*)
- ❖ Analisis *Load Factor*, *Utility factor*, dan *Demand Factor*, kemudian menghitung daya terpasang keseluruhan dan menentukan kapasitas transformator.

Perhitungan dapat dilakukan dengan menggunakan rumus yang telah ditentukan. Pada Perencanaan Kapasitas Transformator Pada Elektrifikasi *Container Crane* Untuk Operasional Bongkar Muat, analisis data yang digunakan sepenuhnya adalah pengukuran dan perhitungan selain mendapatkan data dari data sekunder:

- ❖ Melakukan analisis dan perhitungan beban motor listrik pada *container crane* dan komponen kelistrikan lainnya.
- Menggunakan Rumus total kebutuhan daya listrik:[10], [11]

$$P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + \dots + P_x = P_{eq} \quad (1)$$

Dimana:

- $P_1$  = Daya motor hoist (kW)
- $P_2$  = Daya motor boom (kW)
- $P_3$  = Daya motor trolley (kW)
- $P_4$  = Daya motor gantry (kW)
- $P_x$  = Daya komponen kelistrikan lainnya
- $P_{eq}$  = Daya total (kW)

- ❖ Melakukan perhitungan.

Untuk memberikan *safety device* bisa menggunakan rumus pada persamaan 2.

$$\text{Daya Terpasang} = \frac{\text{Kapasitas Beban}}{80\%} \quad (2)$$

Atau bisa juga menggunakan rumus pada persamaan 3.

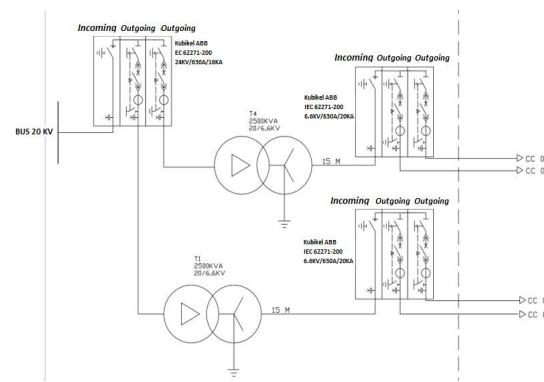
$$\text{Daya Terpasang} = \text{Daya total}$$

- ❖ Menentukan kapasitas transformator:[12]

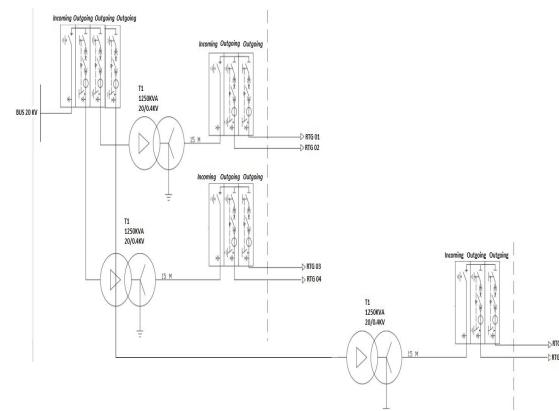
$$\text{Trafo } 3\phi = \sum P_{\text{Tepasang}} + 30\% (P_{\text{Tepasang}}) \quad (3)$$

## 3. Hasil dan Pembahasan

Terdapat 10 jenis *Container Crane* yang mendukung proses bongkar muat, yaitu empat buah *gantry crane* di dermaga dan enam buah *RTG Crane* di *Container Yard*. Empat *gantry Crane* dan enam *RTG Crane* untuk bongkar muat di pelabuhan, dengan rincian 2 *Crane DHHI*, 1 *Crane MITSUBISHI*, 1 *Crane MITSUI* dan 6 *Crane RTG*.



Gambar 2. Single Line Diagram Existing Gantry Crane



Gambar 3. Single Line Diagram Existing RTG Crane

Perhitungan beban pada motor listrik di Container Crane penting untuk dilakukan. Karena pada peralatan ini daya listrik yang paling besar dibutuhkan. Selain itu motor listrik juga merupakan penyumbang terbesar terhadap kualitas listrik, sehingga akan berpengaruh pada pembebanan [13]. Karena sifat motor listrik yang induktif yang menyebabkan timbulnya harmonisa yang berpengaruh pada kualitas Listrik [14]. Motor listrik termasuk motor hoist, motor gantry, motor trolley, dan motor boom.

Perhitungan beban motor listrik semua Container Crane didasarkan pada spesifikasi yang tersedia di pelabuhan bongkar muat. Selain motor, ada alat listrik lain yang bekerja pada Container Crane yaitu trim-list motor, main hoist brake, trolley brake, gantry brake, wheel brake, boom hoist brake, emergency brake for boom drum, spreader, fuel pump, man lift, air conditioning, lighting, serta auxiliary.

### 3.1. Profil Beban

Berdasarkan *singgle line diagram (SLD) existing* yang ditunjukkan pada gambar 2 dan gambar 3, maka dapat direncanakan kebutuhan kapasitas transformator yang dapat dipasang dengan melihat beban-beban yang terpasang pada setiap *Container Crane* baik yang di *Gantry Crane* maupun di *RTG Crane*.

### 3.2. Kapasitas Transformator

Sistem tenaga listrik meliputi sistem distribusi tenaga listrik. Listrik dapat disalurkan ke konsumen atau beban dengan menggunakan sistem distribusi ini dari sumber listrik massal (*large power source*). Stabilitas dan keandalan sistem tenaga listrik sangat penting untuk pengoperasian sistem, yang memastikan kenyamanan dan keamanan. Dengan memperhatikan dan mengecek kondisi peralatan tenaga listrik yang ada, hal tersebut dapat terlaksana. Transformator adalah salah satu peralatan tenaga listrik yang paling penting dalam pengoperasian sistem tenaga listrik.

Diharapkan transformator dapat berfungsi secara optimal dan berkesinambungan untuk keperluan penyaluran tenaga listrik baik pada jaringan transmisi maupun jaringan distribusi. Oleh karena itu, perlu diciptakan jaringan distribusi tenaga listrik yang berbasis beban dan berimbang. Jalur distribusi listrik di sisi lain, sering mengalami ketidakseimbangan beban. Setiap atau semua *fasa* di mana besaran arus dan tegangan berbeda menyebabkan ketidakseimbangan beban, seperti halnya arus netral pada transformator. Selain itu, sering kali transformator dalam perencanaannya kapasitas transformator berada pada beban maksimum sehingga menyebabkan transformator menjadi panas dan mengurangi umurnya.

Peralatan sistem tenaga listrik seperti transformator distribusi memiliki umur desain yang telah ditentukan oleh perusahaan manufaktur sehingga dapat beroperasi dalam jangka waktu tertentu. Namun, umur transformator dapat bervariasi tergantung pada penggunaan dan kondisi lapangan. Ada beberapa hal yang dapat memperpendek umur transformator. Pembebanan merupakan salah satu faktor yang dapat memperpendek umur transformator.

Pembebanan yang berlebih dapat menyebabkan pemuaian suhu pada transformator. Bahan transformator terurai akibat panas yang dihasilkan, yang dapat mempercepat penuaan. Sifat konstruksi komponen transformator akan diubah oleh panas yang berlebihan. perkiraan umur hidup akan lebih pendek jika suhu dinaikkan 6°C di atas batas yang diizinkan [15]. Penuaan isolasi ini akan sangat cepat dengan asumsi isolasi bekerja pada suhu yang melampaui batas yang diizinkan (dalam hal ini adalah *Hot Spot*). Sesuai dengan standar *IEC 354*, sebuah transformator akan mengalami umur yang normal pada kondisi suhu *Hot Spot* 98°C pada pembebanan yang terus menerus. Proses *aging* dan *shrinkage* transformator dapat

dipercepat jika suhu *Hot Spot* melebihi 98°C. Jika ini terjadi, umur transformator yang diharapkan dapat berkurang [8].

Transformator distribusi yang biasa digunakan adalah transformator *step-down* 20 kV/400V 3 *fasa* dan 1 *fasa*, dan beberapa menggunakan 3 transformator satu *fasa*. Sistem jaringan tegangan rendah memiliki tegangan *fasa ke fasa* sebesar 380 V. Karena adanya penurunan tegangan, tegangan rendah dinaikkan di atas 380 V sehingga tegangan di ujung penerima tidak turun di bawah 380 V. Ketidakseimbangan beban terjadi ketika salah satu atau semua *fasa* transformator mengalami perbedaan. Perbedaan tersebut bisa dilihat dari nilai besarnya arus atau tegangan dan sudut dari masing-masing *fasa* dari transformator tersebut. Tiap-tiap *fasa* transformator dinyatakan dalam keadaan seimbang apabila memenuhi syarat sebagai berikut, (a) ketiga vektor arus dari masing-masing *fasa* (R, S, T) mempunyai nilai yang sama besar dan (b) Perbedaan sudut dari ketiga vektor *fasa* adalah masing-masing sebesar 120° [16]. Standar *IEEE 446-1995* menetapkan bahwa jika nilai persentase ketidakseimbangan beban melebihi 20%, sistem tidak sesuai standar. Standar ketidakseimbangan beban berkisar dari 5% hingga 20%. Penurunan kemampuan suatu bahan isolasi akibat panas disebut penuaan (*aging*). Hal ini merupakan faktor utama yang membatasi kemampuan mempertahankan perkiraan umur dari transformator distribusi. Dengan kata lain, kelebihan beban akan menghasilkan panas berlebihan pada belitan kumparan transformator, mengurangi umur transformator. Untuk transformator yang menggunakan media pendingin air, maka temperatur air tidak boleh lebih dari 25°C, sedangkan untuk transformator yang menggunakan media pendingin udara, maka temperatur udaranya tidak boleh lebih dari 40°C serta tidak dibawah -25°C untuk pemasangan luar dan -5°C untuk pemasangan dalam [17]. Sebagai tambahan untuk pendinginan dengan udara, temperaturnya tidak melebihi rata-rata 30°C untuk satu hari.

Pemburukan isolasi akan semakin cepat apabila isolasi tersebut bekerja dengan temperatur yang melebihi dari batas yang diizinkan (dalam hal ini adalah *temperatur hot spot*). Menurut standar *IEC 354* yang juga telah menjadi standar PLN saat ini, sebuah transformator akan mengalami umur yang normal pada kondisi “*temperatur hot spot* 98°C pada pembebanan terus menerus” dengan temperatur sekitar (*ambient temperature*) 20°C. Apabila transformator tersebut mengalami *temperatur hot spot* yang lebih besar dari 98°C, susut umurnya akan semakin cepat (besar) sehingga dapat memperpendek umur dari yang diharapkan [18], [19]. Standar *IEC 354* memberikan faktor pembebanan terus menerus yang akan menghasilkan *temperatur hot spot* 98°C dari berbagai temperatur atau kondisi lingkungan di area tempat pemasangan transformator dan untuk setiap jenis transformator, sehingga

memungkinkan untuk dapat menghitung kemampuan pembebanan yang terus menerus berdasarkan temperatur sekitar. Berdasarkan SPLN, transformator di Indonesia dirancang untuk bekerja pada temperatur sekitar tidak melebihi 40° C dan pada temperatur rata-rata harian 30° C serta temperatur rata-rata tahunan 30° C. IEC menetapkan bahwa umur transformator berkisar 20 tahun atau setara 7300 hari apabila dibebani 100% dari nilai rating daya transformator pada temperatur sekitar 20° C [20].

Selain pembebanan pada transformator yang akan menyebabkan penyusutan umur, Annual Energy Review (AER) tahun 2010 dari U.S Energy Information Administration (EIA) juga melaporkan 65,8% energi terbuang dalam kerugian pada pembangkitan, transmisi dan salah satunya juga distribusi. Sehingga kira-kira dua pertiga daya hilang dalam pembangkitan, transmisi dan distribusi. Peningkatan efisiensi energi transformator akan mengurangi energi beban yang digunakan [21]. Oleh karena itu perlu dilakukan perhitungan yang tepat dalam menentukan kapasitas transformator.

Beban diklasifikasikan sesuai dengan sifat, yaitu *continue* dan terputus-putus (*intermittent*). Beban terputus-putus (*intermittent*) tergantung faktor siklus kerja yang dapat ditambahkan pada beban *continue* untuk mendapatkan beban rata-rata (*average load*). Beban listrik ditentukan berdasarkan konsep tersebut di atas, dengan margin ditambah 30% di atas beban rata-rata dengan memasukan perubahan beban pada kerangka pemakai pada saat pengembangan dan implementasi perubahan diwaktu mendatang. Kapasitas suatu transformator distribusi untuk 3 fasa ditentukan oleh beban rata-rata ditambah margin 30% atau jumlah maksimum beban yang dilayani (daya yang terpasang) ditambahkan dengan perkembangan beban dikemudian hari (cadangan).

Secara keseluruhan untuk daya total terpasang pada *Gantry Crane* maupun *RTG Crane* ditunjukkan pada tabel 3 dan tabel 4. Tabel 1 dan tabel 2 menunjukkan profil beban pada setiap crane.

Tabel 1. Daya total pada *Gantry Crane*

Peralatan	CC04 – DHHI Crane (kW)	CC05 – DHHI Crane (kW)	CC01 – Mitsubishi Crane (kW)	CC03 – Mitsui Crane (kW)	Total
Motor Hoist	300	300	350	310	
Motor Boom	132	132	120	110	
Motor Trolley	37	37	76	310	
Motor Gantry	120	120	120	104	

Trim-List Motor	14,8	14,8	6,6	6,6
Main Hoist Brake	0,45	0,45	0,55	0,45
Trolley Brake	0,2	0,2	0,2	0,303
Gantry Brake	0,303	0,303	0,303	0,303
Wheel Brake	2,2	2,2	2,2	2,2
Boom Hoist Brake	1,5	1,5	0,55	1,324
Spread er	7,5	7,5	7,5	7,5
Main Lift	10	10	10	10
Air Conditioning	0,75	0,75	4,6	2,13
Lighting	11,5	11,5	11,14	11,84
<b>Total</b>	<b>638,2</b>	<b>638,2</b>	<b>709,64</b>	<b>876,65</b>

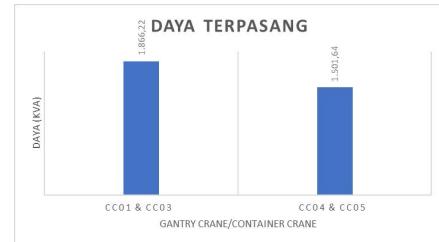
Tabel 2. Daya total pada *RTG Crane*

Peralatan	RTG1 (kW)	RTG2 (kW)	RTG3 (kW)	RTG4 (kW)	RTG5 (kW)	RTG6 (kW)
Motor Hoist	200	200	200	200	200	200
Motor Trolley	30	30	30	30	30	30
Motor Gantry	120	120	120	120	120	120
Trim Motor	11	11	11	11	11	11
Steering Motor	3,45	3,45	3,45	3,45	3,45	3,45
Drive Motor	30	30	30	30	30	30
<b>Total</b>	<b>394,45</b>	<b>394,45</b>	<b>394,45</b>	<b>394,45</b>	<b>394,45</b>	<b>394,45</b>

Tabel 3. Daya terpasang pada *Gantry Crane*

T4 2500 kVA / 20–6,6 kV			
CC	kW	kVA	Total (kVA)
CC01	709,64	834,87	1866,22
CC03	876,65	1031,35	
T1 2500 kVA / 20–6,6 kV			
CC	kW	kVA	Total (kVA)

T4 2500 kVA / 20–6,6 kV			
CC	kW	kVA	Total (kVA)
CC04	638,2	750,82	
CC05	638,2	750,82	1501,64



Gambar 3. Daya terpasang pada *Gantry Crane/Container Crane*

Tabel 4. Daya terpasang pada *RTG Crane*

T1 1250 kVA / 20–0,4 kV			
RTG	kW	kVA	Total per Grup (kVA)
RTG01	394,45	464,06	
			928,12
RTG02	394,45	464,06	
			928,12
RTG03	394,45	464,06	
			928,12
RTG04	394,45	464,06	
			928,12
RTG05	394,45	464,06	
			928,12
RTG06	394,45	464,06	
			928,12



Gambar 4. Daya terpasang pada *RTG Crane*

Dengan melakukan perhitungan tanpa menerapkan *safety device* transformator pada saat pembebanan berdasar tabel 3 dan tabel 4, didapatkan kapasitas transformator yang seharusnya bisa terpasang adalah sebagai berikut:

*Kapasitas transformator terpasang pada Gantry Crane / Container Crane (CC01 & CC03):*

$$30\% \text{ dari } P_{\text{terpasang}} = 559,87 \text{ kVA}$$

$$Trafo_{3\phi} = 1866,22 \text{ kVA} + 559,87 \text{ kVA} = 2.426,09 \text{ kVA}$$

*Kapasitas transformator terpasang pada Gantry Crane / Container Crane (CC04 & CC05):*

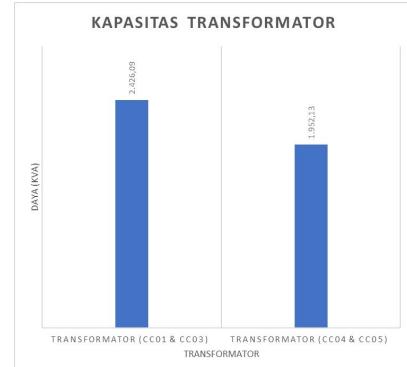
$$30\% \text{ dari } P_{\text{terpasang}} = 450,49 \text{ kVA}$$

$$Trafo_{3\phi} = 1501,64 \text{ kVA} + 450,49 \text{ kVA} = 1.952,13 \text{ kVA}$$

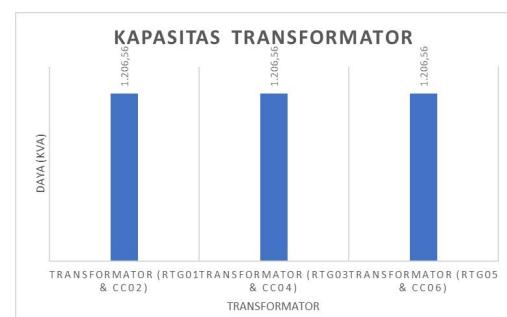
*Kapasitas transformator terpasang pada RTG Crane (RTG01 & RTG02; RTG03 & RTG04; RTG05 & RTG06):*

$$30\% \text{ dari } P_{\text{terpasang}} = 278,44 \text{ kVA}$$

$$Trafo_{3\phi} = 928,12 \text{ kVA} + 278,44 \text{ kVA} = 1.206,56 \text{ kVA}$$



Gambar 5. Kapasitas transformator terpasang pada *Gantry Crane/Container Crane*



Gambar 6. Kapasitas transformator terpasang pada *RTG Crane*

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil studi lapangan pada operasional bongkar muat di Surabaya yang menjadi lokasi penelitian ini, menunjukkan transformator yang terpasang pada *Container Crane* (T4 2500 kVA/20/6,6 kV) dan *RTG Crane* (T1 1250 kVA/20/0,4 kV) sudah

sesuai dengan kapasitas transformator yang seharusnya, yang dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Kebutuhan kapasitas transformator yang dibutuhkan pada *Container Crane* berdasar hasil analisa dan perhitungan pada T4 2500 kVA/20/6,6 kV (CC01 dan CC03) sebesar 2426,09 kVA, pada T4 2500 kVA/20/6,6 kV (CC04 dan CC05) sebesar 1952,13 kVA dan yang terpasang sebesar 2500 kVA.
2. Kebutuhan kapasitas transformator yang dibutuhkan pada *RTG Crane* T1 1250 kVA/20/0,4 kV (RTG01 dan RTG02), T1 1250 kVA/20/0,4 kV (RTG03 dan RTG04), T1 1250 kVA/20/0,4 kV (RTG05 dan RTG06) berdasar hasil perhitungan sebesar 1206,56 kVA dan yang terpasang sebesar 1250kVA.

### Ucapan Terimakasih

Penulis menyatakan bahwa tidak terdapat konflik kepentingan. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya dan juga rekan dosen yang telah *sharing* pengetahuan.

### Daftar Rujukan

- [1] A. Nurhadini, Rafie, and M. Indrayadi, “OPTIMASI PELAYANAN BONGKAR MUAT PETI KEMAS DI PELABUHAN DWIKORA PONTIANAK,” *JeLAST*, vol. 6, no. 1, pp. 1–11, 2019.
- [2] D. Fasha and S. Sarwito, “Studi Aliran Daya pada Container Crane dengan Suplai Energi Terbarukan Berbasis Simulasi,” *Jurnal Teknik ITS*, vol. 9, no. 2, Feb. 2021, doi: 10.12962/j23373539.v9i2.57219.
- [3] M. R. Akhbar and E. Darmana, “STUDY PENANGANAN KERUSAKAN KOMPONEN YANG TERJADI PADA RTG DI TERMINAL PETI KEMAS KOJA JAKARTA,” *JURNAL SAINS DAN TEKNOLOGI MARITIM*, vol. 19, no. 2, Jun. 2019, doi: 10.33556/jstm. v19i2.203.
- [4] A. A. Masroeri, E. S. Koenhardono, and F. F. Asshanti, “Analysis of Electrical Power Consumption in Container Crane of Container Terminal Surabaya,” *International Journal of Marine Engineering Innovation and Research*, vol. 2, no. 1, Dec. 2017, doi: 10.12962/j25481479.v2i1.2623.
- [5] M. Igbal, “Analisa Kapasitas Daya Listrik Container Crane untuk Optimalisasi Proses Bongkar Muat,” Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2012.
- [6] M. Igbal, “OPTIMALISASI PENGGUNAAN ALAT BONGKAR MUAT GUNA MEMPERLANCAR KEGIATAN BONGKAR MUAT DI TERMINAL PETIKEMAS DOMESTIK BELAWAN (Studi Kasus),” UMSU, Medan, 2022. Accessed: Apr. 15, 2023. [Online]. Available: <http://repository.umsu.ac.id/handle/123456789/18943>
- [7] R. Sutjipto, D. A. Novfowan, and R. Duanaputri, “Studi Perencanaan Peningkatan Kinerja Trafo Distribusi Dengan Relokasi Antara 2 Buah Trafo,” *Jurnal ELTEK*, vol. 17, no. 2, Nov. 2019.
- [8] A. M. Muzar, Syahrizal, and M. Syukri, “Analisis Pengaruh Suhu Akibat Pembebatan Terhadap Susut Umur Transformator Daya di Gardu Induk Lambaro,” *Jurnal Komputer, Informasi Teknologi dan Elektro*, vol. 3, no. 2, pp. 1–8, 2018.
- [9] F. Azhar, Y. Rahmawati, and I. Fadlika, “Estimasi Umur Transformator Distribusi Berdasarkan Pertumbuhan Beban dan Temperatur Lingkungan di Penyulang Bolo PLN Rayon Woha Kabupaten Bima,” in *Seminar Nasional Inovasi dan Aplikasi Teknologi di Industri*, Feb. 2019, pp. 43–49.
- [10] “Determining Electric Motor Load and Efficiency,” United States, 1997. [Online]. Available: <https://www.osti.gov/biblio/1215875>
- [11] F. F. Asshanti, “ANALISA KEBUTUHAN DAYA LISTRIK CONTAINER CRANE DALAM RANGKA ELEKTRIFIKASI CONTAINER CRANE UNTUK MENGOPTIMALKAN PROSES BONGKAR MUAT DI TERMINAL PETIKEMAS SURABAYA,” INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER, Surabaya, 2017.
- [12] R. Duyo and A. Sulkifli, “ANALISIS JARINGAN DAN PEMELIHARAAN PADA JARINGAN DISTRIBUSI DI PT.PLN WILAYAH CABANG PINRANG,” *VERTEX ELEKTRO*, vol. 1, no. 2, pp. 1–11, Aug. 2019, doi: 10.26618/jte. v1i2.2379.
- [13] E. Setiawan, G. Anindita, A. Syahid, and I. Rachman, “PENERAPAN FILTER AKTIF SEBAGAI CARA MENAIKKAN NILAI FAKTOR DAYA PADA PENGGUNAAN BEBAN NONLINIER,” *Jurnal Teknologi Maritim*, vol. 2, no. 1, pp. 21–26, Sep. 2019, doi: 10.35991/jtm. v2i1.1170.
- [14] E. Setiawan, I. Rachman, G. Anindita, and A. Syahid, “Implementation of Signal Defects Caused by The Effect of Harmonics on The Use of Electricity Loads,” in *2018 International Conference on Applied Science and Technology (icAST)*, IEEE, Oct. 2018, pp. 157–160. doi: 10.1109/icAST1.2018.8751574.
- [15] P. Gultom, Danial, and M. Rajagukguk, “STUDI SUSUT UMUR TRANSFORMATOR DISTRIBUSI 20 kV AKIBAT PEMBEBANAN LEBIH DI PT.PLN (PERSERO) KOTA PONTIANAK,” *JURNAL TEKNIK ELEKTRO UNIVERSITAS TANJUNGPURA*, vol. 2, no. 1, 2017.
- [16] H. L. Latupeirissa, “ANALISA UMUR PAKAI TRANSFORMATOR DISTRIBUSI 20 KV DI PT. PLN CABANG AMBON,” *JURNAL SIMETRIK*, vol. 8, no. 2, p. 126, Dec. 2018, doi: 10.31959/jss.v8i2.101.
- [17] Dewi Febriatika Ayu (2014). Analisis Gangguan Ketidakseimbangan Beban Antara Fasa Pada Transformator Distribusi U.168 PT. PLN (PERSERO) Rayon Ampera. Politeknik Negeri Sriwijaya.
- [18] Pratama Aditya Riko (2018). Analisa Kinerja Dan Susu Umur Transformator Daya (Studi Kasus PLTA Kota Panjang). Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
- [19] IEEE Standard Board, *IEEE Std 446-1995, IEEE Recommended Practice for Emergency and Standby Power Systems for Industrial and Commerical Applications*. Accessed: Apr. 15, 2023. [Online]. Available: <https://www.pdfdrive.com/ieee-std-446-1995-ieee-recommended-practice-for-emergency-and-standby-power-systems-for-industrial-and-commerical-applications-the-ieee-orange-book-e190049483.html>
- [20] E. A. Sodilesmana, Nasrulloh, and N. R. Prasetyono, “Analisis Pembebatan dan Ketidakseimbangan Beban pada Penentuan Susut Umur Transformator Distribusi,” *Journal Of Electronic and Electrical Power Application (JE2PA)*, pp. 1–7, Nov. 2021.
- [21] E. SETIAWAN, G. ANINDITA, A. SYAHID, and I. RACHMAN, “Monitoring Keseimbangan Distribusi Beban Transformator untuk Meminimalisasi Terjadinya Rugi Energi,” *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, vol. 7, no. 2, p. 297, May 2019, doi: 10.26760/elkomika. v7i2.297.