

ANALISIS SISTEM CONSTANT CURRENT REGULATOR PADA AIRFIELD LIGHTING SYSTEM DI BANDAR UDARA

CONSTANT CURRENT REGULATOR SYSTEM ANALYSIS ON AIRFIELD LIGHTING SYSTEMS AT AIRPORTS

Slamet Budi Arto Situmeang¹, Zuraidah Tharo², Siti Anisah³

^{1,2,3}Fakultas Sains Dan Teknologi, Universitas Pembangunan Panca Budi

slametsitumeang@gmail.com¹, zuraidahtharo@dosen.pancabudi.ac.id²

ABSTRACT

The purpose of this study is to analyze the Constant Current Regulator System in the Airfield Lighting System at the Airport. The analysis conducted in this research aims to evaluate and identify the AFL load on the CCR capacity. This study utilizes field observation methods. The collected data will be processed through mathematical calculations to produce values that will then be compared with the installed CCR capacity at Kualanamu Airport. Data in this study were collected through field research methods, document examination, interaction/discussion, and data analysis. Findings from the research indicate that in calculating the CCR capacity, the total lamp power, isolating transformer losses, and power losses are summed. In this study, the loss from each isolating transformer is 10% of the installed lamp power. The maximum current in AFL is 6.6 A. The cross-sectional area of the FL2XCY cable for AFL is 6 mm². Power losses are influenced by cable length and cross-sectional area. Based on calculations, the installed CCR capacity at Kualanamu Airport is sufficient to accommodate the total AFL load, including a maximum load of 80% of the CCR capacity.

Keywords: Constant Current Regulator, Airport, Capacity

ABSTRAK

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melakukan analisis terhadap Sistem *Constant Current Regulator* Pada *Airfield Lighting System* di Bandar Udara. Analisis yang dilakukan dalam penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi dan mengidentifikasi jumlah beban AFL terhadap kapasitas CCR. Penelitian ini memanfaatkan metode observasi lapangan. Data-data yang terkumpul akan diolah melalui perhitungan matematis guna menghasilkan nilai-nilai yang kemudian akan dibandingkan dengan kapasitas CCR yang terpasang di Bandara Kualanamu. Data dalam penelitian ini dikumpulkan melalui metode penelitian lapangan, pemeriksaan dokumen, interaksi/diskusi, dan analisis data. Temuan dari penelitian menunjukkan bahwa dalam perhitungan kapasitas CCR, total daya lampu, kerugian *isolating transformer*, dan kerugian daya dijumlahkan. Dalam penelitian ini, kerugian dari masing-masing *isolating transformer* sebesar 10% dari daya lampu yang terpasang. Arus maksimum pada AFL adalah 6,6 A. Luas penampang kabel FL2XCY untuk AFL adalah 6 mm². Kerugian daya dipengaruhi oleh panjang kabel dan luas penampang kabel. Berdasarkan perhitungan, kapasitas CCR yang terpasang di Bandara Kualanamu cukup untuk menanggung total beban AFL, termasuk beban maksimum 80% dari kapasitas CCR.

Kata Kunci: Constant Current Regulator, Bandar Udara, Kapasitas

PENDAHULUAN

Bandar udara merupakan pusat kegiatan penerbangan yang memainkan peran sentral dalam transportasi udara. Transportasi udara adalah salah satu pilar utama dalam sistem transportasi global yang melayani mobilitas manusia, pengiriman kargo, dan interaksi internasional. Dalam beberapa dekade terakhir, transportasi udara telah mengalami perubahan besar, baik dari segi teknologi peralatan bandar udara maupun

operasional.

Peralatan bandar udara memainkan peran penting dalam mendukung operasi dan keselamatan penerbangan. Keselamatan penerbangan sangat tergantung pada infrastruktur yang mendukungnya, termasuk Sistem Penerangan Landasan Udara atau yang biasa disebut *Airfield Lighting System* (AFL).

AFL adalah komponen kunci dalam memastikan pesawat dapat lepas landas

dan mendarat dengan aman, terutama dalam kondisi cuaca yang buruk atau pada malam hari. Setiap penyelenggara bandar udara diwajibkan mengoperasikan peralatan sistem tenaga listrik dan AFL yang ada di bandar udara sesuai standar keselamatan penerbangan (PM 36 Standarisasi Fasilitas Bandar Udara, 2021).

Sistem kelistrikan yang rumit melibatkan banyak pembangkit untuk melayani beban, sehingga memerlukan perhatian khusus dalam memastikan kelancaran pelayanan (Junaidi & Rahmani, 2021). Sistem tenaga listrik dirancang dan dibangun secara cermat, agar dapat beroperasi dengan baik, tetapi dalam operasinya, gangguan (*fault*) dapat saja terjadi (Rahmani & Hermansyah, 2018). Untuk menjaga keandalan AFL, diperlukan beberapa komponen yang mendukung operasi yang stabil dan andal. Dalam hal ini *Constant Current Regulator*, yang selanjutnya disebut dengan CCR, menjadi komponen yang sangat penting dalam menjaga AFL tetap berfungsi dengan baik. Fluktuasi dalam tegangan dan frekuensi harus tetap berada dalam batas toleransi yang diperbolehkan agar peralatan listrik dapat beroperasi secara optimal dan aman (Syahputra dkk., 2018).

Analisis yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu menilai dan mengidentifikasi jumlah beban AFL terhadap CCR. Hasil dari penelitian ini diharapkan memberikan wawasan yang lebih mendalam tentang peran CCR dalam sistem pencahayaan bandara dan meningkatkan keselamatan operasi penerbangan di seluruh dunia.

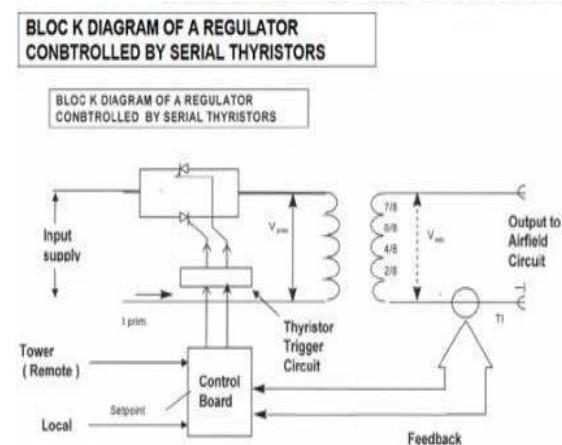
Literature Review

Constant Current Regulator (CCR)

CCR atau *Constant Current Regulator* adalah perangkat catu daya yang umumnya dipakai dalam industri penerbangan untuk menyediakan tenaga listrik AFL. Fungsinya adalah memastikan bahwa suplai tenaga listrik yang disalurkan ke lampu AFL tetap stabil dengan menjaga

arus listrik pada tingkat yang konstan. Hal ini bertujuan untuk menjaga kestabilan cahaya dan memastikan AFL tetap konsisten (Panjaitan dkk., 2020).

Salah satu CCR yang sampai saat ini masih digunakan adalah CCR *Type Thyristor*. CCR jenis *thyristor* merupakan pengembangan dari tipe CCR yang sampai saat ini masih tetap diproduksi oleh pabrikan AFL. Prinsip dasar dari CCR jenis *thyristor* adalah pengaturan transformator (trafo) dengan paralel *thyristor* dimana rangkaian elektronik yang dirangkai pada *output* trafo dimonitor dan dibandingkan arus *output* dengan harga referensi dan mengatur *trigger thyristor* agar mendapat arus *output* yang sama dengan besaran referensi.



Gambar 1. Prinsip Kerja CCR *Thyristor*

Isolating Transformer

Dalam sistem AFL, *series circuit* menggunakan *series transformer* untuk menjaga kontinuitas sirkuit meskipun lampu mengalami kerusakan. Trafo memisahkan hubungan antara CCR dan lampu menjadi *primary* dan *secondary circuit*. Jika ada lampu yang terbakar, trafo akan tetap menjaga kontinuitas sirkuit meskipun bekerja dalam saturasi karena beroperasi di *open circuit* (Lombarte dkk., 2015). Trafo tersebut terdiri dari kumparan primer dan kumparan sekunder yang dililitkan pada inti magnet dalam wadah kedap air dengan kabel primer dan sekunder yang menghubungkan dengan lampu. Perbandingan lilitan kumparan primer dengan kumparan sekunder *series*

transformer adalah 1:1, sehingga keseimbangan beban yang ada pada trafo dapat memperpanjang umur peralatan listrik (Tharo dkk., 2022). Nilai arus lampu pada kabel sekunder sama seperti kabel primer dari *Constant Current Regulator* (CCR) (CARC 34 Airport Electrical System, 2018).

Airfield Lighting System (AFL)

Airfield Lighting System adalah peralatan bantu pendaratan visual pesawat udara yang digunakan untuk pendaratan pada saat jarak pandang (*visibilitas*) rendah maupun malam hari (PM 36 Standarisasi Fasilitas Bandar Udara, 2021). *Airfield Lighting System* (AFL) yang menggunakan CCR di Bandar Udara Internasional Kualanamu adalah *Runway (R/W) edge light, R/W center line light, Taxiway (T/W) Edge light, T/W centre line lights pada exit T/W, Rapid Exit T/W Indicator Lights, Threshold-R/W end light, Stop Bar Light, Precision Approach Lighting System (PALS) CAT I, PAPI (Precision Approach Path Indicator)*.

1. *R/W Edge Light*

R/W Edge Light merupakan lampu yang berada di sepanjang pinggir *R/W* dan berada dalam dua baris sejajar dengan jarak yang sama dari garis tengah (*center line R/W*) (KP 2 Kriteria Penempatan Peralatan dan Utilitas Bandar Udara, 2013).

2. *R/W center line light*

R/W center line light merupakan lampu yang menandai garis tengah (*sumbu R/W*) dipasang inset (*terbenam*) di dalam *R/W* (KP 2 Kriteria Penempatan Peralatan dan Utilitas Bandar Udara, 2013).

3. *T/W Edge light*

T/W Edge light merupakan lampu yang menandai batas sisi kanan dan kiri *T/W* harus ditempatkan dengan jarak maksimal 60 meter satu sama lain, dan jarak dari titik lampu ke tanda markah pinggir *T/W* maksimal 3 meter (KP 2 Kriteria Penempatan Peralatan dan Utilitas Bandar Udara, 2013).

4. *T/W centre line lights pada exit T/W*

T/W centre line lights pada exit T/W dipasang di *T/W* yang dimaksudkan untuk digunakan pada malam hari dalam kondisi jangkauan visual *R/W* sepanjang 350 meter atau lebih, terutama di persimpangan *T/W dan exit T/W* yang kompleks (PR 21 *Manual Of Standard CASR 139 Volume I Aerodrome Daratan*, 2023).

5. *Rapid Exit T/W Indicator Lights*

Rapid Exit T/W Indicator Lights merupakan lampu yang memberikan informasi kepada pilot mengenai jarak yang harus ditempuh menuju *rapid exit T/W* terdekat di *R/W*.

6. *Threshold - R/W End Light*

Threshold - R/W End Light merupakan lampu berwarna merah atau hijau yang terpasang di sisi akhir dari kedua ujung *R/W*. Lampu ini dapat berfungsi sebagai penanda ambang *R/W* atau sebagai batas terakhir dari *R/W* itu sendiri. Warna hijau digunakan sebagai *Threshold light*, sementara warna merah berfungsi sebagai *R/W End Light* (KP 2 Kriteria Penempatan Peralatan dan Utilitas Bandar Udara, 2013).

7. *Stop Bar Light*

Stop Bar Light merupakan lampu yang berfungsi mengatur pesawat saat masuk ke *R/W*. Diposisikan di seberang *T/W*, tepat pada atau tidak lebih dari 0,3 meter sebelum titik di mana diharapkan seluruh lalu lintas yang akan memasuki *R/W* berhenti

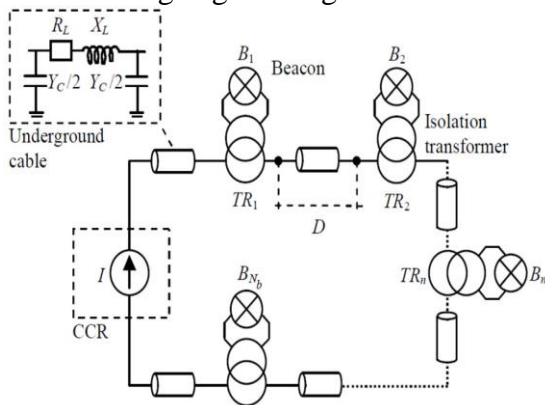
8. *Precision Approach Lighting System (PALS) CAT I*

Precision Approach Lighting System (PALS) CAT I adalah salah satu alat yang berperan dalam memberikan panduan dan informasi visual kepada pilot mengenai arah menuju *R/W* saat berada pada fase akhir pendaratan (*final approach*), terdiri dari susunan lampu yang dipasang secara simetris mulai dari ujung perpanjangan *R/W* di area pendekatan hingga mencapai ambang *R/W (threshold)*.

9. *PAPI (Precision Approach Path*

Indicator)

PAPI merupakan alat yang berperan dalam memberikan panduan kepada pesawat udara yang akan mendarat dengan menyediakan sudut pendaratan yang akurat (KP 2 Kriteria Penempatan Peralatan dan Utilitas Bandar Udara, 2013). PAPI memiliki konfigurasi terdiri dari empat unit yang dipasang secara berderet pada bahu R/W dengan jarak 15 m (± 1 m) dari tepi R/W, dan jarak antar unit PAPI adalah 9 m (± 1 m). Keempat unit PAPI tersebut harus diposisikan dalam satu garis yang tegak lurus dengan garis tengah R/W.



Gambar 2. Blok diagram yang menggunakan CCR (Sudjoko dkk., 2021)

Elevated lights

Merupakan jenis lampu R/W, Stopway, dan T/W yang mudah patah (*frangible*) untuk menjaga keselamatan. Ketinggian lampu tersebut harus cukup rendah agar menjaga jarak yang aman dari baling-baling dan mesin jet pesawat udara. Pondasi penempatan lampu *elevated* harus sejajar atau tidak lebih tinggi dari 2 cm dari permukaan pave Shoulder atau area perkerasan

Inset Light

Merupakan lampu pada permukaan R/W, Stopway, T/W, dan Apron yang dirancang dan dipasang sedemikian rupa sehingga tahan terhadap tekanan roda pesawat terbang tanpa merusak baik pesawat itu sendiri maupun lampunya (PR 21 Manual Of Standard CASR 139 Volume I Aerodrome Daratan, 2023).

Hukum Kirchoff

Hukum dasar dalam analisis rangkaian listrik, yakni Hukum *Kirchoff* dapat diterapkan untuk menganalisis sifat-sifat rangkaian. Hukum *Kirchoff*, yang diperkenalkan oleh fisikawan asal Jerman Gustav Robert Kirchoff, terdiri dari dua aspek utama. Hukum *Kirchoff* 1, yang juga dikenal sebagai *Kirchoff Current Law* (KCL), membahas keseimbangan arus pada suatu simpul, sementara Hukum *Kirchoff* 2, atau *Kirchoff Voltage Law* (KVL), menggambarkan keseimbangan tegangan dalam suatu *loop* atau lintasan tertutup (Anugrah, 2022).

Hukum *Kirchoff* 1 menyatakan bahwa total arus yang mengalir ke suatu titik percabangan (*node*) sama dengan total arus yang *keluar* dari titik percabangan (*node*) tersebut. Dengan kata lain, jumlah keseluruhan arus pada suatu titik percabangan (*node*) adalah nol. Secara matematis, Hukum *Kirchoff* 1 dapat diungkapkan dalam bentuk persamaan :

$$\sum i = 0$$

$$i_1 + i_4 - i_1 - i_3 = 0$$

$$\sum \text{ arus masuk} = \sum \text{ arus keluar}$$

$$i_1 + i_4 = i_1 + i_3$$

Hukum *Kirchoff* 2 menyatakan bahwa total tegangan dalam suatu rangkaian tertutup adalah nol. Dengan kata lain, penjumlahan tegangan pada setiap komponen penyusun rangkaian tertutup tersebut sama dengan nol (Wahyudi, 2015). Secara matematis, Hukum *Kirchoff* 1 dapat diungkapkan dalam bentuk persamaan :

$$\sum v = 0$$

Resistansi Tembaga

Resistansi dari sebuah penghantar atau konduktor (kawat penghantar) merupakan sifat yang menimbulkan hambatan terhadap aliran arus listrik dalam konduktor tersebut (Kartika dkk., 2018). Yang sesuai dengan persamaan :

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

(Nur & Dzulkifli, 2019)

Tahanan jenis Rho (ρ) tembaga

diambil sebesar 0,0175 (Mudri dkk., 2015).

Rugi-Rugi Daya

Dampak dari hambatan pada penghantar tenaga listrik mengakibatkan terjadinya kehilangan energi listrik yang disalurkan, yang dikenal sebagai rugi-rugi daya listrik. Besarnya rugi-rugi daya listrik dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$P = I^2 R \text{ (Kartika dkk., 2018)}$$

Hukum Ohm

Hukum *Ohm* diperkenalkan oleh fisikawan Jerman bernama Georg Simon Ohm. Hukum ini menyatakan bahwa tegangan yang melintasi bahan penghantar bersifat sebanding dengan besar arus yang mengalir melalui bahan tersebut (Anugrah, 2022). Secara matematis, Hukum *Ohm* dapat diungkapkan dalam bentuk persamaan :

$$V = I \cdot R$$

Kabel FL2XCY

Berbicara tentang kelistrikan tidak terlepas dari penggunaan kabel untuk menyalurkan daya listrik dari pusat ke beban (Aryza dkk., 2020). Dalam peralatan AFL untuk *series circuit* yang menghubungkan CCR dan *Isolating transformer* menggunakan kabel tipe FL2XCY sebagai kabel utama, yang bertegangan 5kV dan berukuran 6 mm². Kabel tersebut dipasang di saluran bus bawah tanah. Terdapat lapisan semikonduktor dan berisolasi pada kabel tegangan menengah dengan bahan berjenis XLPE (Surya Hudha & Multi, 2019).

METODE

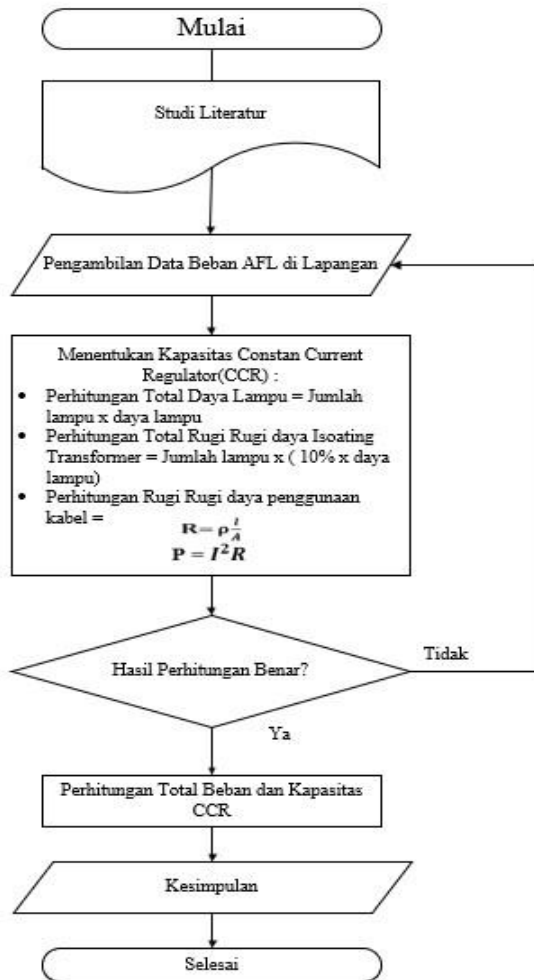
Penelitian ini menggunakan metode observasi lapangan untuk mengidentifikasi masing-masing beban AFL pada CCR. Selanjutnya data hasil observasi lapangan. Informasi yang diperoleh dari observasi kemudian diproses menggunakan perhitungan matematis guna membandingkannya dengan kapasitas

CCR yang terpasang di Bandara Kualanamu.

Pengumpulan data melibatkan metode penelitian lapangan, pemeriksaan dokumen, wawancara, serta analisis data. Pengumpulan data melibatkan observasi langsung di *Main Power Station* (MPS) Bandar Udara Kualanamu oleh peneliti untuk memperoleh informasi terkait isu penelitian. Metode dokumentasi dilakukan dengan mengumpulkan sumber dari buku-buku dan jurnal yang relevan dengan topik penelitian.

Wawancara dilakukan untuk mendapatkan data tentang Jenis CCR, Kapasitas CCR Terpasang, Jumlah Beban AFL, Panjang Kabel AFL, dan *Layout* Pemasangan Jalur Kabel CCR ke Beban AFL, yang kemudian dianalisis untuk memastikan kesesuaiannya.

Flowchart digunakan untuk mencatat, merencanakan, dan menggambarkan proses yang kompleks dalam bentuk diagram visual. Fungsinya adalah untuk memudahkan pemahaman dan interpretasi terhadap proses yang rumit, bahkan bagi individu yang tidak memiliki pengetahuan khusus dalam bidang tersebut.



Gambar 1. Flowchart HASIL DAN PEMBAHASAN Perhitungan Jumlah Beban pada CCR

Penulis menemukan di lapangan bahwa lampu *Threshold/ R/W End Light* dan lampu *R/W Edge* digabung menjadi satu jalur. Berikut merupakan tabel data pembagian CCR berdasarkan Ruangan Panel Distribusi atau yang disebut dengan *Substation (SST)*, jalur atau yang biasa disebut *circuit (cct)* dan Panjang kabel dari masing-masing CCR ke masing-masing lampu AFL.

Tabel 1. Pembagian CCR Berdasarkan SST Dan Panjang Kabel

Pembagian CCR	SST	Panjang Kabel (m)
R/W Edge 05/23 cct 1	SUB 1	8990,14
R/W Edge 05/23 cct 2	SUB 2	8843,02
R/W Centre 05/23 cct 1	SUB 1	10694
R/W Centre 05/23 cct 2	SUB 2	10694
T/W Edge 1	SUB 2	4558,06

T/W Edge 2	SUB 2	3952,79
T/W Edge 3	SUB 2	5299,1
T/W Edge 4	SUB 1	7444
T/W Edge 5	SUB 1	5340
T/W Edge 6	SUB 1	2770
RETIL 05/23	SUB 2	3328
Stop Bar C	SUB 2	700
Stop Bar D	SUB 2	2142
Stop Bar E	SUB 2	3442
Stop Bar G	SUB 1	2188
Stop Bar H	SUB 1	862
Approach 05 cct 1	SUB 1	2339
Approach 05 cct 2	SUB 1	2150
Approach 23 cct 1	SUB 2	2298
Approach 23 cct 2	SUB 2	2149
PAPI 05	SUB 1	2150
PAPI 23	SUB 2	1616

Penulis juga menemukan di lapangan bahwa, setiap lampu dilengkapi dengan *isolating transformer* tersendiri. Rugi daya pada masing-masing *isolating transformer* adalah 10% dari daya lampu yang terpasang.

a. CCR R/W Edge Light CCT 1

Elevated R/W Edge Light dan *Threshold/ R/W End Light* CCT 1 berjumlah 66 buah, dengan daya masing-masing lampu 150 watt/6,6A. total daya lampu : 66 x 150 watt = 9900 watt.

Rugi-rugi penggunaan *isolating transformer* : 66 x 15 watt = 990 watt.

Inset R/W Edge Light dan *Threshold/ R/W End Light* CCT 1 berjumlah 29 buah, dengan daya masing-masing lampu 105 watt/6,6A. total daya lampu : 29 x 105 watt = 3045 watt.

Rugi-rugi penggunaan *isolating transformer* : 29 x 10,5 watt = 304,5 watt.

Rugi-rugi daya penggunaan kabel :

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

$$R = \frac{0,0175 \times 8990,14}{6}$$

$$= 26,22 \Omega$$

Rugi-rugi daya :

$$P = I^2 R$$

$$P = 6,6^2 \times 26,22$$

$$= 1.142,14 \text{ watt}$$

Jumlah beban = 9.900 watt + 990 watt + 3045 watt + 304,5 watt + 1.142,14 watt = 15.381,64 watt, diubah ke kVA = 19,22 kVA.

b. CCR R/W Edge Light CCT 2

Elevated R/W Edge Light dan *Threshold/ R/W End Light* CCT 2 berjumlah 65 buah, dengan daya masing-masing lampu 150 watt/6,6A. total daya lampu : 65 x 150 watt = 9750 watt.

Rugi-rugi penggunaan *isolating transformer* : 65 x 15 watt = 975 watt.

Inset R/W Edge Light dan *Threshold/ R/W End Light* CCT 2 berjumlah 28 buah, dengan daya masing-masing lampu 105 watt/6,6A. total daya lampu : 28 x 105 watt = 2940 watt.

Rugi-rugi penggunaan *isolating transformer* : 28 x 10,5 watt = 294 watt.

Rugi-rugi daya penggunaan kabel :

$$\mathbf{R} = \frac{\rho \frac{l}{A}}{6} = \frac{0,0175 \times 8843,02}{6} = 25,79 \Omega$$

Rugi-rugi daya :

$$\mathbf{P} = I^2 R \\ \mathbf{P} = 6,6^2 \times 25,79 \\ = 1.123,41 \text{ watt}$$

Jumlah beban = 9.750 watt + 975 watt + 2940 watt + 294 watt + 1.123,41 watt = 15.082,41 watt, diubah ke kVA = 18,85 kVA.

c. CCR R/W center line light CCT 1

R/W center line light CCT 1 berjumlah 62 buah, dengan daya masing-masing lampu 48 watt/6,6A. total daya lampu : 62 x 48 watt = 2976 watt.

Rugi-rugi penggunaan *isolating transformer* : 62 x 4,8 watt = 297,6 watt.

Rugi-rugi daya penggunaan kabel :

$$\mathbf{R} = \frac{\rho \frac{l}{A}}{6} = \frac{0,0175 \times 10694}{6} = 31,19 \Omega$$

Rugi-rugi daya :

$$\mathbf{P} = I^2 R \\ \mathbf{P} = 6,6^2 \times 31,19$$

$$= 1.358,63 \text{ watt}$$

Jumlah beban = 2.976 watt + 297,6 watt + 1.358,63 watt = 4.632,23 watt, diubah ke kVA = 5,79 kVA.

d. CCR R/W center line light CCT 2

R/W center line light CCT 2 berjumlah 62 buah, dengan daya masing-masing lampu 48 watt/6,6A. total daya lampu : 62 x 48 watt = 2976 watt.

Rugi-rugi penggunaan *isolating transformer* : 62 x 4,8 watt = 297,6 watt.

Rugi-rugi daya penggunaan kabel :

$$\mathbf{R} = \frac{\rho \frac{l}{A}}{6} = \frac{0,0175 \times 10694}{6} = 31,19 \Omega$$

Rugi-rugi daya :

$$\mathbf{P} = I^2 R \\ \mathbf{P} = 6,6^2 \times 31,19 \\ = 1.358,63 \text{ watt}$$

Jumlah beban = 2.976 watt + 297,6 watt + 1.358,63 watt = 4.632,23 watt, diubah ke kVA = 5,79 kVA.

e. CCR T/W Edge light CCT 1

T/W Edge light CCT 1 berjumlah 76 buah, dengan daya masing-masing lampu 45 watt/6,6A. total daya lampu : 76 x 45 watt = 3420 watt.

Rugi-rugi penggunaan *isolating transformer* : 76 x 4,5 watt = 342 watt.

Rugi-rugi daya penggunaan kabel :

$$\mathbf{R} = \frac{\rho \frac{l}{A}}{6} = \frac{0,0175 \times 4558,06}{6} = 13,29 \Omega$$

Rugi-rugi daya :

$$\mathbf{P} = I^2 R \\ \mathbf{P} = 6,6^2 \times 13,29 \\ = 578,91 \text{ watt}$$

Jumlah beban = 3.420 watt + 342 watt + 578,91 watt = 4340,91 watt, diubah ke kVA = 5,42 kVA.

f. CCR T/W Edge light CCT 2

T/W Edge light CCT 2 berjumlah 76 buah, dengan daya masing-masing lampu 45 watt/6,6A. total daya lampu : 76 x 45 watt = 3420 watt.

Rugi-rugi penggunaan *isolating transformer* : $76 \times 4,5 \text{ watt} = 342 \text{ watt}$.

Rugi-rugi daya penggunaan kabel :

$$\mathbf{R} = \rho \frac{l}{A}$$

$$\mathbf{R} = \frac{0,0175 \times 3952,79}{6}$$

$$= \mathbf{11,52 \Omega}$$

Rugi-rugi daya :

$$\mathbf{P} = I^2 R$$

$$\mathbf{P} = 6,6^2 \times 11,52$$

$$= \mathbf{501,81 \text{ watt}}$$

Jumlah beban = $3.420 \text{ watt} + 342 \text{ watt} + 501,81 \text{ watt} = 4.263,81 \text{ watt}$, diubah ke kVA = $5,32 \text{ kVA}$.

g. CCR T/W Edge light CCT 3

T/W Edge light CCT 3 berjumlah 76 buah, dengan daya masing-masing lampu $45 \text{ watt}/6,6\text{A}$. total daya lampu : $76 \times 45 \text{ watt} = 3420 \text{ watt}$.

Rugi-rugi penggunaan *isolating transformer* : $76 \times 4,5 \text{ watt} = 342 \text{ watt}$.

Rugi-rugi daya penggunaan kabel :

$$\mathbf{R} = \rho \frac{l}{A}$$

$$\mathbf{R} = \frac{0,0175 \times 5299,1}{6}$$

$$= \mathbf{15,45 \Omega}$$

Rugi-rugi daya :

$$\mathbf{P} = I^2 R$$

$$\mathbf{P} = 6,6^2 \times 15,45$$

$$= \mathbf{673 \text{ watt}}$$

Jumlah beban = $3.420 \text{ watt} + 342 \text{ watt} + 673 \text{ watt} = 4.435 \text{ watt}$, diubah ke kVA = $5,54 \text{ kVA}$.

h. CCR T/W Edge light CCT 4

T/W Edge light CCT 4 berjumlah 76 buah, dengan daya masing-masing lampu $45 \text{ watt}/6,6\text{A}$. total daya lampu : $76 \times 45 \text{ watt} = 3420 \text{ watt}$.

Rugi-rugi penggunaan *isolating transformer* : $76 \times 4,5 \text{ watt} = 342 \text{ watt}$.

Rugi-rugi daya penggunaan kabel :

$$\mathbf{R} = \rho \frac{l}{A}$$

$$\mathbf{R} = \frac{0,0175 \times 7444}{6}$$

$$= \mathbf{21,71 \Omega}$$

Rugi-rugi daya :

$$\mathbf{P} = I^2 R$$

$$\mathbf{P} = 6,6^2 \times 21,71$$

$$= \mathbf{945,68 \text{ watt}}$$

Jumlah beban = $3.420 \text{ watt} + 342 \text{ watt} + 945,68 \text{ watt} = 4707,68 \text{ watt}$, diubah ke kVA = $5,88 \text{ kVA}$.

i. CCR T/W Edge light CCT 5

T/W Edge light CCT 5 berjumlah 75 buah, dengan daya masing-masing lampu $45 \text{ watt}/6,6\text{A}$. total daya lampu : $75 \times 45 \text{ watt} = 3375 \text{ watt}$.

Rugi-rugi penggunaan *isolating transformer* : $75 \times 4,5 \text{ watt} = 337,5 \text{ watt}$.

Rugi-rugi daya penggunaan kabel :

$$\mathbf{R} = \rho \frac{l}{A}$$

$$\mathbf{R} = \frac{0,0175 \times 5340}{6}$$

$$= \mathbf{15,57 \Omega}$$

Rugi-rugi daya :

$$\mathbf{P} = I^2 R$$

$$\mathbf{P} = 6,6^2 \times 15,57$$

$$= \mathbf{678,22 \text{ watt}}$$

Jumlah beban = $3.375 \text{ watt} + 337,5 \text{ watt} + 678,22 \text{ watt} = 4.390,72 \text{ watt}$, diubah ke kVA = $5,48 \text{ kVA}$.

j. CCR T/W Edge light CCT 6

T/W Edge light CCT 6 berjumlah 75 buah, dengan daya masing-masing lampu $45 \text{ watt}/6,6\text{A}$. total daya lampu : $75 \times 45 \text{ watt} = 3375 \text{ watt}$.

Rugi-rugi penggunaan *isolating transformer* : $75 \times 4,5 \text{ watt} = 337,5 \text{ watt}$.

Rugi-rugi daya penggunaan kabel :

$$\mathbf{R} = \rho \frac{l}{A}$$

$$\mathbf{R} = \frac{0,0175 \times 2770}{6}$$

$$= \mathbf{8,07 \Omega}$$

Rugi-rugi daya :

$$\mathbf{P} = I^2 R$$

$$\mathbf{P} = 6,6^2 \times 8,07$$

$$= \mathbf{351,52 \text{ watt}}$$

Jumlah beban = $3.375 \text{ watt} + 337,5 \text{ watt} + 351,52 \text{ watt} = 4.064,02 \text{ watt}$, diubah ke kVA = $5,08 \text{ kVA}$.

k. CCR RETIL R/W 05/23

T/W centre line lights pada *exit T/W* berjumlah 128 buah, dengan daya masing-masing $15 \text{ watt}/6,6\text{A}$. Total daya lampu : $128 \times 15 \text{ watt} = 1920 \text{ watt}$.

Rugi-rugi penggunaan *isolating transformer* : $128 \times 1,5 \text{ watt} = 192 \text{ watt}$.

Rapid Exit T/W Indicator Lights berjumlah 18 buah, dengan daya masing-masing 48 watt/6,6A. Total daya lampu : $18 \times 48 \text{ watt} = 864 \text{ watt}$.

Rugi-rugi penggunaan *isolating transformer* : $18 \times 4,8 \text{ watt} = 86,4 \text{ watt}$.

Rugi-rugi daya penggunaan kabel :

$$\mathbf{R} = \rho \frac{l}{A}$$

$$\mathbf{R} = \frac{0,0175 \times 3328}{6}$$

$$= \mathbf{9,7 \Omega}$$

Rugi-rugi daya :

$$\mathbf{P} = I^2 R$$

$$\mathbf{P} = 6,6^2 \times 9,7$$

$$= \mathbf{422,53 \text{ watt}}$$

Jumlah beban = $1920 \text{ watt} + 192 \text{ watt} + 864 \text{ watt} + 86,4 \text{ watt} + 422,53 \text{ watt} = 3.484,93 \text{ watt}$, diubah ke kVA = 4,35 kVA.

l. CCR Stop Bar Light CCT C

Inset Stop Bar Light CCT C berjumlah 15 buah, dengan daya masing-masing 15 watt/6,6A. Total daya lampu : $15 \times 15 \text{ watt} = 225 \text{ watt}$.

Rugi-rugi penggunaan *isolating transformer* : $15 \times 1,5 \text{ watt} = 22,5 \text{ watt}$.

Elevated Stop Bar Light CCT C berjumlah 4 buah, dengan daya masing-masing 45 watt/6,6A. Total daya lampu : $4 \times 45 \text{ watt} = 180 \text{ watt}$.

Rugi-rugi penggunaan *isolating transformer* : $4 \times 4,5 \text{ watt} = 18 \text{ watt}$.

Rugi-rugi daya penggunaan kabel :

$$\mathbf{R} = \rho \frac{l}{A}$$

$$\mathbf{R} = \frac{0,0175 \times 700}{6}$$

$$= \mathbf{2,04 \Omega}$$

Rugi-rugi daya :

$$\mathbf{P} = I^2 R$$

$$\mathbf{P} = 6,6^2 \times 2,04$$

$$= \mathbf{88,86 \text{ watt}}$$

Jumlah beban = $225 \text{ watt} + 22,5 \text{ watt} + 180 \text{ watt} + 18 \text{ watt} + 88,86 \text{ watt} = 534,36 \text{ watt}$, diubah ke kVA = 0,66 kVA

m. CCR Stop Bar Light CCT D

Inset Stop Bar Light CCT D berjumlah 15

buah, dengan daya masing-masing 15 watt/6,6A. Total daya lampu : $15 \times 15 \text{ watt} = 225 \text{ watt}$.

Rugi-rugi penggunaan *isolating transformer* : $15 \times 1,5 \text{ watt} = 22,5 \text{ watt}$.

Elevated Stop Bar Light CCT D berjumlah 4 buah, dengan daya masing-masing 45 watt/6,6A. Total daya lampu : $4 \times 45 \text{ watt} = 180 \text{ watt}$.

Rugi-rugi penggunaan *isolating transformer* : $4 \times 4,5 \text{ watt} = 18 \text{ watt}$.

Rugi-rugi daya penggunaan kabel :

$$\mathbf{R} = \rho \frac{l}{A}$$

$$\mathbf{R} = \frac{0,0175 \times 2142}{6}$$

$$= \mathbf{6,24 \Omega}$$

Rugi-rugi daya :

$$\mathbf{P} = I^2 R$$

$$\mathbf{P} = 6,6^2 \times 6,24$$

$$= \mathbf{271,81 \text{ watt}}$$

Jumlah beban = $225 \text{ watt} + 22,5 \text{ watt} + 180 \text{ watt} + 18 \text{ watt} + 271,81 \text{ watt} = 717,31 \text{ watt}$, diubah ke kVA = 0,89 kVA

n. CCR Stop Bar Light CCT E

Inset Stop Bar Light CCT E berjumlah 14 buah, dengan daya masing-masing 15 watt/6,6A. Total daya lampu : $14 \times 15 \text{ watt} = 210 \text{ watt}$.

Rugi-rugi penggunaan *isolating transformer* : $14 \times 1,5 \text{ watt} = 21 \text{ watt}$.

Elevated Stop Bar Light CCT E berjumlah 4 buah, dengan daya masing-masing 45 watt/6,6A. Total daya lampu : $4 \times 45 \text{ watt} = 180 \text{ watt}$.

Rugi-rugi penggunaan *isolating transformer* : $4 \times 4,5 \text{ watt} = 18 \text{ watt}$.

Rugi-rugi daya penggunaan kabel :

$$\mathbf{R} = \rho \frac{l}{A}$$

$$\mathbf{R} = \frac{0,0175 \times 3442}{6}$$

$$= \mathbf{10,03 \Omega}$$

Rugi-rugi daya :

$$\mathbf{P} = I^2 R$$

$$\mathbf{P} = 6,6^2 \times 10,03$$

$$= \mathbf{436,90 \text{ watt}}$$

Jumlah beban = $210 \text{ watt} + 21 \text{ watt} + 180 \text{ watt} + 18 \text{ watt} + 436,90 \text{ watt} = 865,9 \text{ watt}$, diubah ke kVA = 1,08 kVA

o. CCR Stop Bar Light CCT G

Inset Stop Bar Light CCT G berjumlah 14 buah, dengan daya masing-masing 15 watt/6,6A. Total daya lampu : 14 x 15 watt = 210 watt.

Rugi-rugi penggunaan *isolating transformer* : 14 x 1,5 watt = 21 watt.

Elevated Stop Bar Light CCT G berjumlah 4 buah, dengan daya masing-masing 45 watt/6,6A. Total daya lampu : 4 x 45 watt = 180 watt.

Rugi-rugi penggunaan *isolating transformer* : 4 x 4,5 watt = 18 watt.

Rugi-rugi daya penggunaan kabel :

$$\mathbf{R} = \rho \frac{l}{A}$$

$$\mathbf{R} = \frac{0,0175 \times 2188}{6}$$

$$= 6,38 \Omega$$

Rugi-rugi daya :

$$\mathbf{P} = I^2 R$$

$$\mathbf{P} = 6,6^2 \times 6,38$$

$$= 277,91 \text{ watt}$$

Jumlah beban = 210 watt + 21 watt + 180 watt + 18 watt + 277,91 watt = 706,91 watt, diubah ke kVA = 0,88 kVA

p. CCR Stop Bar Light CCT H

Inset Stop Bar Light CCT H berjumlah 14 buah, dengan daya masing-masing 15 watt/6,6A. Total daya lampu : 14 x 15 watt = 210 watt.

Rugi-rugi penggunaan *isolating transformer* : 14 x 1,5 watt = 21 watt.

Elevated Stop Bar Light CCT H berjumlah 4 buah, dengan daya masing-masing 45 watt/6,6A. Total daya lampu : 4 x 45 watt = 180 watt.

Rugi-rugi penggunaan *isolating transformer* : 4 x 4,5 watt = 18 watt.

Rugi-rugi daya penggunaan kabel :

$$\mathbf{R} = \rho \frac{l}{A}$$

$$\mathbf{R} = \frac{0,0175 \times 862}{6}$$

$$= 2,51 \Omega$$

Rugi-rugi daya :

$$\mathbf{P} = I^2 R$$

$$\mathbf{P} = 6,6^2 \times 2,51$$

$$= 109,33 \text{ watt}$$

Jumlah beban = 210 watt + 21 watt + 180 watt + 18 watt + 109,33 watt = 538,33

watt, diubah ke kVA = 0,67 kVA

q. CCR Precision Approach Lighting System (PALS) CAT I R/W 05 CCT 1

Precision Approach Lighting System (PALS) CAT I R/W 05 CCT 1 berjumlah 83 buah, dengan daya masing-masing 150 watt/6,6A. Total daya lampu : 91 x 150 watt = 13.650 watt.

Rugi-rugi penggunaan *isolating transformer* : 91 x 15 watt = 1365 watt.

Rugi-rugi daya penggunaan kabel :

$$\mathbf{R} = \rho \frac{l}{A}$$

$$\mathbf{R} = \frac{0,0175 \times 2339}{6}$$

$$= 6,82 \Omega$$

Rugi-rugi daya :

$$\mathbf{P} = I^2 R$$

$$\mathbf{P} = 6,6^2 \times 6,82$$

$$= 297,07 \text{ watt}$$

Jumlah beban = 13.650 watt + 1.365 watt + 297,07 watt = 15.312,07 watt, diubah ke kVA = 19,14 kVA

r. CCR Precision Approach Lighting System (PALS) CAT I R/W 05 CCT 2

Precision Approach Lighting System (PALS) CAT I R/W 05 CCT 2 berjumlah 83 buah, dengan daya masing-masing 150 watt/6,6A. Total daya lampu : 83 x 150 watt = 12.450 watt.

Rugi-rugi penggunaan *isolating transformer* : 83 x 15 watt = 1245 watt.

Rugi-rugi daya penggunaan kabel :

$$\mathbf{R} = \rho \frac{l}{A}$$

$$\mathbf{R} = \frac{0,0175 \times 2150}{6}$$

$$= 6,27 \Omega$$

Rugi-rugi daya :

$$\mathbf{P} = I^2 R$$

$$\mathbf{P} = 6,6^2 \times 6,27$$

$$= 273,12 \text{ watt}$$

Jumlah beban = 12.450 watt + 1.245 watt + 273,12 watt = 13.968,12 watt, diubah ke kVA = 17,46 kVA

s. CCR Precision Approach Lighting System (PALS) CAT I R/W 23 CCT

1

Precision Approach Lighting System (PALS) CAT I R/W 23 CCT 1 berjumlah 91 buah, dengan daya masing-masing 150 watt/6,6A. Total daya lampu : 91 x 150 watt = 13.650 watt.

Rugi-rugi penggunaan *isolating transformer* : 91 x 15 watt = 1365 watt.

Rugi-rugi daya penggunaan kabel :

$$\mathbf{R} = \frac{\rho \frac{l}{A}}{6} = \frac{0,0175 \times 2298}{6} = 6,7 \Omega$$

Rugi-rugi daya :

$$\mathbf{P} = I^2 R \\ \mathbf{P} = 6,6^2 \times 6,7 = 291,85 \text{ watt}$$

Jumlah beban = 13.650 watt + 1.365 watt + 291,85 watt = 15.306,85 watt, diubah ke kVA = 19,13 kVA

t. CCR Precision Approach Lighting System (PALS) CAT I R/W 23 CCT 2

Precision Approach Lighting System (PALS) CAT I R/W 23 CCT 2 berjumlah 83 buah, dengan daya masing-masing 150 watt/6,6A. Total daya lampu : 83 x 150 watt = 12.450 watt.

Rugi-rugi penggunaan *isolating transformer* : 83 x 15 watt = 1245 watt.

Rugi-rugi daya penggunaan kabel :

$$\mathbf{R} = \frac{\rho \frac{l}{A}}{6} = \frac{0,0175 \times 2149}{6} = 6,26 \Omega$$

Rugi-rugi daya :

$$\mathbf{P} = I^2 R \\ \mathbf{P} = 6,6^2 \times 6,26 = 272,68 \text{ watt}$$

Jumlah beban = 12.450 watt + 1.245 watt + 272,68 watt = 13.967,68 watt, diubah ke kVA = 17,45 VA

u. PAPI R/W 05

PAPI R/W 05 berjumlah 4 buah, dengan daya masing-masing 315 watt/6,6A. Total daya lampu : 4 x 315 watt = 1260 watt.

Rugi-rugi penggunaan *isolating transformer* : 4 x 31,5 watt = 126 watt.

Rugi-rugi daya penggunaan kabel :

$$\mathbf{R} = \rho \frac{l}{A} \\ \mathbf{R} = \frac{0,0175 \times 2150}{6} = 6,27 \Omega$$

Rugi-rugi daya :

$$\mathbf{P} = I^2 R \\ \mathbf{P} = 6,6^2 \times 6,27 = 273,12 \text{ watt}$$

Jumlah beban = 1260 watt + 126 watt + 273,12 watt = 1.659,12 watt, diubah ke kVA = 2,07 kVA

v. PAPI R/W 23

PAPI R/W 23 berjumlah 4 buah, dengan daya masing-masing 315 watt/6,6A. Total daya lampu : 4 x 315 watt = 1260 watt.

Rugi-rugi penggunaan *isolating transformer* : 4 x 31,5 watt = 126 watt.

Rugi-rugi daya penggunaan kabel :

$$\mathbf{R} = \rho \frac{l}{A} \\ \mathbf{R} = \frac{0,0175 \times 1616}{6} = 4,71 \Omega$$

Rugi-rugi daya :

$$\mathbf{P} = I^2 R \\ \mathbf{P} = 6,6^2 \times 4,71 = 205,16 \text{ watt}$$

Jumlah beban = 1260 watt + 126 watt + 205,16 watt = 1.591,16 watt, diubah ke kVA = 1,98 kVA

Perbandingan Kapasitas CCR Terpasang dengan Hasil Perhitungan beban

Berdasarkan hasil wawancara dengan teknisi bahwa pembebanan pada CCR sebesar 80 % dari kapasitas CCR tersebut. Berikut tabel perbandingan data CCR yang terpasang dengan hasil perhitungan beban pada penelitian ini.

Tabel 2. Perbandingan Kapasitas CCR Terpasang Dengan Hasil Perhitungan (Analisis)

Pembagian CCR	CCR Terpasang (kVA)	Analisis (kVA)
R/W Edge 05/23 cct 1	25	19,22
R/W Edge 05/23 cct 2	25	18,85
R/W Centre 05/23 cct 1	15	5,79
R/W Centre 05/23	15	5,79

cct 2		
T/W Edge 1	15	5,42
T/W Edge 2	15	5,32
T/W Edge 3	15	5,54
T/W Edge 4	15	5,88
T/W Edge 5	15	5,48
T/W Edge 6	15	5,08
RETIL 05/23	7,5	4,35
Stop Bar C	2,5	0,66
Stop Bar D	2,5	0,89
Stop Bar E	2,5	1,08
Stop Bar G	2,5	0,88
Stop Bar H	2,5	0,67
Approach 05 cct 1	25	19,14
Approach 05 cct 2	25	17,46
Approach 23 cct 1	25	19,13
Approach 23 cct 2	25	17,45
PAPI 05	4	2,07
PAPI 23	4	1,98

Tabel 3. Perbandingan kapasitas CCR terpasang dengan analisis kapasitas CCR maksimal 80 %

Pembagian CCR	CCR Terpasang (kVA)	Analisis Kapasitas CCR maksimal 80 % (kVA)
R/W Edge 05/23 cct 1	25	24,03
R/W Edge 05/23 cct 2	25	23,56
R/W Centre 05/23 cct 1	15	7,24
R/W Centre 05/23 cct 2	15	7,24
T/W Edge 1	15	6,78
T/W Edge 2	15	6,65
T/W Edge 3	15	6,93
T/W Edge 4	15	7,35
T/W Edge 5	15	6,85
T/W Edge 6	15	6,35
RETIL 05/23	7,5	5,44
Stop Bar C	2,5	0,83
Stop Bar D	2,5	1,11
Stop Bar E	2,5	1,35
Stop Bar G	2,5	1,10
Stop Bar H	2,5	0,84
Approach 05 cct 1	25	23,93

Approach 05 cct 2	25	21,83
Approach 23 cct 1	25	23,91
Approach 23 cct 2	25	21,81
PAPI 05	4	2,59
PAPI 23	4	2,48

SIMPULAN

Dari penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa dalam menghitung kapasitas CCR didapatkan melalui penjumlahan total daya lampu, rugi-rugi *isolating transformer*, dan rugi-rugi daya. Dalam penelitian ini rugi-rugi masing-masing *isolating transformer* sebesar 10% dari daya lampu yang terpasang. Besaran arus pada AFL maksimal 6,6 A. Dalam penelitian ini luas penampang kabel FL2XCY untuk AFL sebesar 6 mm². Rugi-rugi daya dipengaruhi oleh Panjang kabel (l) dan luas penampang kabel. Berdasarkan hasil perhitungan penulis maka Kapasitas CCR yang saat ini terpasang di Bandara Kualanamu memadai untuk menanggung total beban AFL yang ada, termasuk beban maksimal 80% dari kapasitas CCR

DAFTAR PUSTAKA

- Anugrah, D. (2022). Penerapan Hukum Kirchhoff dan Hukum Ohm pada Analisis Rangkaian Listrik Menggunakan Software Electronics Workbench. *Journal of Systems, Information Technology, and Electronics Engineering*. <https://doi.org/10.31331/jsitee.v1i1.kodeartikel>
- Aryza, S., Lubis, Z., & Indrawan, M. I. (2020). *Analisa Baru Dalam Mendeteksi Letak Gangguan Hubung Singkt Jaringan 1 Fasa*. 13(2).
- CARC 34 Airport Electrical System (2018).
- Junaidi, A., & Rahmaniar. (2021). *Peningkatan Analisa Sistem Tenaga*

- Dengan Metode Computing*. 5. <https://jurnal.pancabudi.ac.id/index.php/elektrotelkomunikasi/article/view/1957>
- KP 2 Kriteria Penempatan Peralatan dan Utilitas Bandar Udara (2013).
- Lombarte, D. V., Monjo, L., Sainz, L., & Pedra, J. (2015). Model of aeronautical ground lighting system transformers. *IET Electric Power Applications*, 9(3), 239–247. <https://doi.org/10.1049/iet-epa.2014.0282>
- Mudri, I. G. A. S., Sudiarta, P. K., & Gunantara, N. (2015). Analisis Pengukuran Kualitas Jaringan MSAN Pada Layanan IPTV PT.Telkom di Daerah Denpasar Bali. *E-Journal SPEKTRUM*, 2(2).
- Nur, A. D., & Dzulkifli. (2019). Rancang Bangun Kit Percobaan Penentuan Resistivitas Kawat Berbasis Mikrokontroler. *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia (IFI)*, 08(01), 39–42.
- Panjaitan, A., Sahputra, A., & Syafriwel. (2020). Analisis Sistem Constant Current Regulator pada Lampu Precision Approach Path Indikator di Bandara Udara. *Edu ElektriKa Journal*, 9.
- PM 36 Standarisasi Fasilitas Bandar Udara (2021).
- PR 21 Manual Of Standard CASR 139 Volume I Aerodrome Daratan (2023).
- Kartika, I. P. G., Wijaya, I. K., & Mataram, I. M. (2018). Analisis Beban Takseimbang Terhadap Rugi-Rugi Daya Dan Efisiensi Transformator KL0005 Jaringan Distribusi Sekunder Pada Penyulang Klungkung. *E-Journal SPEKTRUM*, 5(2).
- Rahmaniar, S. M., & Hermansyah, S. K. M. K. (2018). *Model Dan Analisis Gangguan Satu Konduktor Terbuka (One-Conductor Open Fault) Sistem Tenaga Listrik Menggunakan Perangkat Lunak Matlab*. 4.
- Sudjoko, R. I., Hartono, Hariyadi, S., & Suwito. (2021). Design and Simulation of Airfield Lighting System Using 8 Luminaire in Airfield Lighting Laboratory at Politeknik Penerbangan Surabaya. *Journal of Physics: Conference Series*, 1845(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1845/1/012034>
- Surya Hudha, M., & Multi, A. (2019). Perencanaan Saluran Kabel Bawah Tanah Pada Instalasi Pengolahan Gas. *Sinusoida*, XXI.
- Syahputra, E., Pelawi, Z., & Hasibuan, A. (2018). *Analisis Stabilitas Sistem Tenaga Listrik Menggunakan Berbasis Matlab*. 2(2).
- Tharo, Z., Darma Tarigan, A., Pulungan, R., & Aryza, S. (2022). *Pengaruh Penggunaan Beban Yang Tidak Setuju Pada Alat Listrik*.
- Wahyudi. (2015). *Analisis Hasil Belajar Mahasiswa Pada Pokok Bahasan Hukum Ohmdan Kirchoff Dalam Matakuliah Elektronika Dasar I*. I(2), 2407–6902.