



Lampu LED Serial NL500 Sebagai Lampu Hemat Energi untuk Tambang Batu bara

Fajar Heru Santoso¹, Joni Welman Simatupang¹

¹⁾ Electrical Engineering Study Program, Faculty of Engineering, Industrial Engineering Department, President University
Jl. Ki Hajar Dewantara
Kota Jababeka, Cikarang, Bekasi - Indonesia 17550
Email: herusantoso886@gmail.com, joniwsmt@president.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini membahas tentang perbedaan pencahayaan dari segi kualitas pencahayaan dan nilai ekonomis jika menggunakan LED high power tipe NL500D dan lampu tipe konvensional Metal Halide. Kebutuhan pencahayaan ditopang oleh daya dari *tower lamp* produksi PT. Nobi Putra Angkasa dengan tipe NPL04 *tower lamp* dengan spesifikasi tipe engine Kubota tipe V1305 dan Alternator Stamford tipe PI044F, dengan ketinggian 9 meter dan beban 4 lampu sama dengan 4 x 500W. Konsumsi bahan bakar untuk *tower lamp* dengan operasi 8 jam/hari bisa menghemat dengan menggunakan lampu LED tipe NL500D. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui intensitas penerangan buatan yang mampu memenuhi standar pencahayaan berdasarkan Peraturan Menteri Perburuhan No. 7 tahun 1964 untuk objek kerja tambang batu bara minimal 50 lux. Metode penelitian ini menggunakan empat sampel lampu LED 500W dan satu lampu Merkuri tipe Metal Halide Phillips SON-T 400W. Pengambilan data menggunakan *power analyzer*, lux meter dan simulasi *software* Dialux versi 4.12. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa lampu tipe LED NL500D mempunyai nilai efikasi yang tinggi yakni 133,64 Lm/Watt. Pengukuran temperatur sambungan (T_j) NL500C paling baik untuk transfer panasnya sehingga nilai T_j nya paling kecil dengan nilai rata-rata 58,52°C karena resistansi termalnya = 0.9 °C/Watt. Lampu LED NL500D unggul di intensitas cahaya dengan nilai rata-rata 3794,16 lux. Perbandingan dengan lampu konvensional maka pemilihan lampu tambang yang tepat adalah menggunakan lampu jenis LED karena usia pakai yang lama dan memerlukan sedikit perawatan meski untuk biaya diawal harga pembeliannya lebih mahal. Keuntungan yang didapatkan adalah dengan frekuensi penggantian lampu yang jarang karena usia pakai lebih lama, maka produksi tambang tidak merugi akibat shutdown mendadak dari unit *tower lamp*.

Kata kunci: LED, Efikasi, Lampu menara, Logam Halida

ABSTRACT

This study discusses the differences in lighting in terms of lighting quality and economic value when using high power LED type NL500D and conventional type Metal Halide lamp. Lighting needs are supported by power from the tower lamp produced by PT. Nobi Putra Angkasa with tower lamp type NPL04 with engine specifications Kubota type V1305 and alternator Stamford type PI044F, with a height of 9 meters and a load of 4 lamps is 4 x 500W. Fuel consumption for tower lamps operating 8 hours/day can be saved by the use of NL500D type LED lamps. The purpose of this study was to determine the intensity of artificial lighting that is able to meet the lighting standards of the Minister of Labor Regulation no. 7 of 1964 for coal mining work objects of at least 50 lux. This research method uses four samples of 500W LED lamps and one Phillips SON-T 400W Metal Halide Mercury lamp. Data retrieval using a power analyzer, lux meter and simulation software Dialux version 4.12. The results of this study show that the NL500D LED type lamp has a high efficacy value of 133.64 Lm/Watt. The NL500C junction temperature (T_j) measurement is best for heat transfer so that the T_j value is the smallest with an average value of 58.52°C due to resistance thermal = 0.9 °C/Watt. The NL500D LED lamp is superior in light intensity with an average value of 3794.16 lux. Comparison with conventional lamps, the selection of the right mining lamp is to use LED lamps because of their long service life so they require little maintenance even though the initial purchase cost is more expensive. The benefit is with the use of lamps that are less frequent and have a longer lifespan, it is predicted that the mine will not lose money due to the shutdown of the tower lamp unit.

Keywords: LED, Efficacy, Tower lamp, Metal Halide

1. Pendahuluan

Daya tahan sebuah lampu LED salah satu faktor yang menentukan daya tahan lampu dapat bertahan lama. Penelitian yang membahas mengenai ini bisa dilihat (Schutt, 2014) lihat juga (Poppe, 2014) lihat juga (Nurrohman, 2017). PT. Nobi Putra Angkasa sudah berdiri sejak tahun 1984 yang bergerak pada pembuatan CT ladder kemudian pada tahun 2012 melebarkan sayapnya menjadi perusahaan yang memproduksi lampu LED PJU (Penerangan Jalan Umum) dengan varian produk: NL70SL, NL200SL, NL320HB menggunakan LED berdaya rendah dengan merk Osram bisa dilihat (Semiconductor, 2020) lihat juga (Lumileds, 2020), selanjutnya mulai melakukan inovasi baru sesuai dengan kebutuhan lampu LED untuk bidang pertambangan dengan membuat lampu berdaya besar NL500A menggunakan jenis LED berdaya ultra besar (Cree) lihat juga (Nichia, 2018) lihat juga (Muhaimin, 2014) lihat juga (SNI-03-6575-2001, 2001) lihat juga (SNI-6959-1-2003, 2003). Banyaknya kebutuhan lampu berdaya tinggi serta harga yang kompetitif maka PT. Nobi Putra Angkasa mengembangkan lampu serial NL500 untuk memenuhi kebutuhan pencahayaan di area tambang batu bara seperti PT. KPC, PT. Arutmin, PT. Berau Coal melalui operator lampangan PT. Darma Henwa, PT. SIS, PT. Buma. Lampu ini terpasang pada genset portable atau *tower lamp* dengan spesifikasi tipe engine Kubota tipe V1305 dan Alternator Stamford tipe PI044F, dengan ketinggian 9 meter. *Tower lamp* ini digunakan untuk penerangan pencahayaan area tambang batu bara dan dapat berpindah tempat sesuai dengan objek produksi tambang seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Lampu LED NL500A terpasang pada *tower lamp*.

Untuk meningkatkan kualitas pencahayaan yang lebih baik dari segi konsumsi daya maupun intensitas cahaya PT. Nobi Putra Angkasa mengembangkan produk baru lampu NL500B, NL500C dan NL500D yang merupakan tipe terbaru untuk lampu jenis tambang. Lampu ini sudah teruji secara kualitas dengan uji ketahanan 24 jam selama 6 bulan (BSN, 2009) di lapangan parkir PT. Nobi Putra Angkasa dan uji intensitas di PT. Sucofindo Tbk (Sucofindo, 2019) dengan nomor sertifikat: 21013/DBBPAM tanggal 4 Juli 2019. Lampu NL500D mempunyai daya yang lebih rendah dari NL500A dengan efikasi yang lebih tinggi dari efikasi lampu NL500A sebesar 110 lumen/watt (Institut Teknologi Bandung, 2016) dan nilai efikasi lampu NL500D sebesar 133.64 lumen/watt (Sucofindo, 2019). Dengan daya yang sama NL500D tentu lebih tinggi intensitas cahayanya lampu ini mampu menghasilkan lumen yang lebih besar jika dibandingkan dengan lampu sebelumnya lampu NL500D terpasang di *tower lamp* 12 meter seperti terlampir pada Gambar 2.



Gambar 2. *Tower lamp* 12 meter terpasang lampu LED NL500D.

1.1 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Apakah lampu LED memenuhi standar kebutuhan pencahayaan tambang batu bara.
2. Apakah manajemen panas pada lampu LED berpengaruh terhadap penurunan intensitas cahaya.

3. Apakah lampu LED mampu secara ekonomis digunakan untuk aplikasi pencahayaan area tambang batu bara.

1.2 Tujuan Penelitian

1. Membuktikan bahwa lampu LED tipe NL500D mempunyai efikasi yang paling tinggi dan memenuhi standar kebutuhan pencahayaan
2. Membuktikan secara teori dan penelitian hubungan antara panas sambungan rumah lampu dengan penurunan intensitas cahaya.
3. Lampu LED tipe NL500D mempunyai keuntungan mampu bertahan usia pakai dan konsumsi daya yang rendah

1.3 Ruang Lingkup

- a. Membandingkan konsumsi daya, tingkat pencahayaan serta masa usia pakai, pada lampu hemat energi tipe LED serial NL500 dengan lampu Phillips Master HPI-T Plus 400W untuk tambang batu bara.

2. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah penelitian kuantitatif. Penelitian kuantitatif ini adalah suatu proses menemukan pengetahuan yang menggunakan data berupa angka sebagai alat menganalisis keterangan mengenai apa yang ingin diketahui (Sugiyono, 2017) lihat juga (Arikunto, 2006). Pengujian dilakukan untuk mengetahui panas di bagian LED, PCB serta lumener meliputi bagian dalam serta bagian luar atau sirip lumener, cara pengujian dilakukan dengan lampu dinyalakan kemudian diukur dengan *Power Analyzer* untuk memastikan daya terukur, serta mengukur temperatur dengan alat ukur thermometer digital infrared, data diambil setiap 15 menit kemudian diambil data mengenai intensitas cahaya diukur pada jarak 12 meter dari titik lampu ke alat ukur (lux meter) data hasil pengukuran lampu dikumpulkan untuk selanjutnya dianalisis.

2.1 Rancangan Penelitian

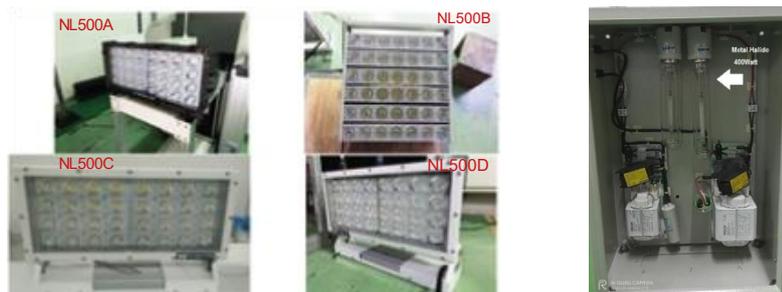
Rancangan metode kuantitatif ini akan dilakukan dengan beberapa pengujian, antara lain pengujian daya, pengujian temperatur, dan pengujian intensitas cahaya serta pengujian dengan *software* Dialux untuk sampel NL500A, NL500B, NL500C dan NL500D dan lampu Metal Halide.

2.2 Sampel

Terdapat 4 (empat) buah sampel lampu LED yang masing-masing telah berstandar SNI produksi PT. Nobi Putra Angkasa lampu LED yang akan diuji adalah lampu NL500A, lampu NL500B, lampu NL500C, lampu NL500D pada Gambar 3 dan spesifikasi sampel lampu ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Sampel lampu LED yang akan diuji.

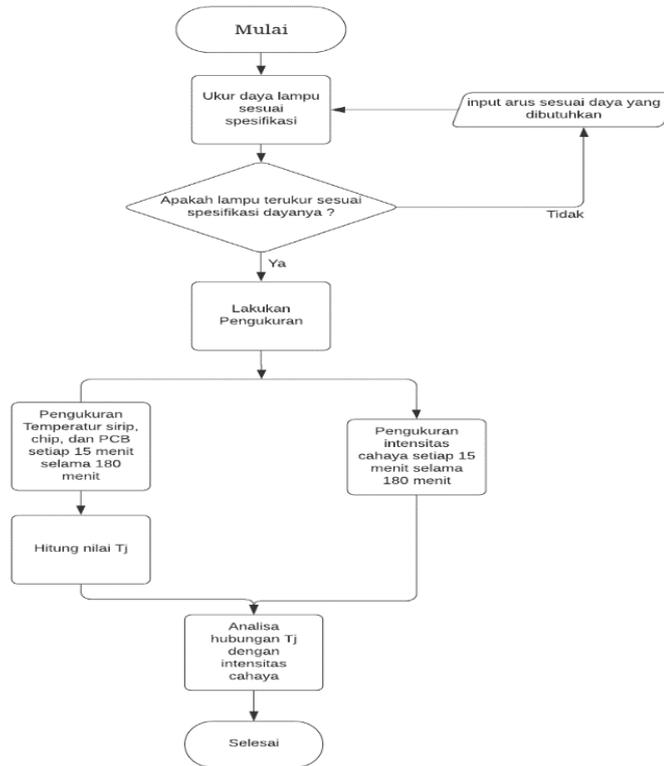
No	Type Lampu	Daya (Watt)	LED	Catu Daya	Lumen (Lm)
1	NL500A	500W	Cree XHP70	EUD-600S560DV	55000
2	NL500B	500W	Bridgelux	ELD-200-42A	55000
3	NL500C	500W	Cree XHP70	EUD-600S560DV	55000
4	NL500D	500W	Nichia 149AM	EUD-600S560DV	66500
5	Phillips	400W	Metal Halide	Phillips Master HPI-T Plus 400W	33200



Gambar 3. Model skematik lampu NL500A, NL500B, NL500C, dan NL500D (kiri) dan Metal Halide (kanan).

2.3 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram alir proses pengukuran lampu.

Urutan pengambilan data pada penelitian ini dilakukan mulai dari pengaturan daya lampu. Catu daya diprogram sesuai kebutuhan menggunakan *software* Inventronics Multiprogrammer. Kemudian lampu diukur dengan alat ukur *power analyzer* Lutron DW-6090A untuk mengetahui daya yang dihasilkan catu daya apakah sudah sesuai seperti yang diharapkan. Apabila hasil pengukuran daya menunjukkan hasil yang tidak sesuai, maka dilakukan pengaturan program ulang daya dengan mengatur arus konstan pada catu daya (Inventronics, Datasheet EUD-480SxxxDV, 2020) lihat juga (Inventronics, Datasheet EUD-600SxxxDV, 2020). Setelah daya sesuai spesifikasi, melakukan pengukuran temperatur secara seri mulai dari pengukuran difokus LED, PCB, rumah lampu sisi dalam, sirip dengan suhu sekitar setiap 15 menit. Setelah itu mengukur intensitas cahaya lampu pada jarak 12meter kemudian dicatat. Urutan alir penelitian dapat dilihat pada gambar 6 untuk pengukuran daya listrik, intensitas cahaya, temperatur pada sirip dan pengukuran temperatur pada LED, dan PCB.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Lampu NL500A

Untuk menghitung T_j lampu NL500A yang menggunakan *chip* LED Cree XHP70. Lampu NL500A menggunakan LED XHP70 sebanyak 32 buah dan arus LED I_F sebesar 1.3A sesuai dengan batasan *datasheet* agar arus ini tidak menimbulkan panas yang berlebih pada lampu dan menghasilkan daya 500W. Adapun perhitungan daya dapat dilihat pada Persamaan (1). Untuk I_F sebesar 1.3 A dan V_F tegangan forward LED 12V satu PCB terdiri dari 4 seri LED dan satu lampu ada 4 paralel (2 PCB diseri) sehingga total tegangan sebesar 72V.

$$P_{input} = V_f \cdot I_f \quad (1)$$

$$P_{input} = (12V) \times (1.3A) \times (32 \text{ LED}) = 499.2 \text{ Watt}$$

$$\text{Daya terukur} = 501.7 \text{ Watt}$$

Total daya termal yang dihasilkan oleh LED akibat dari tegangan maju dan arus maju LED dihitung berdasarkan Persamaan (2)

$$P_{th} = P_{input} - P_{lampu} = ((P_{input} \cdot \eta_{driver}) \eta_{LED}) \tag{2}$$

maka

$$P_{th} = (501.7 \text{ W}) - (((501.7 \text{ W}) \times (95\%)) \times (25\%)) = 382.54 \text{ W}$$

R_{th} diperoleh dari datasheet 0,9 °C/W, Total LED yang terpasang sebanyak 32.

Dan untuk menghitung temperatur pada *junction*

$$T_j = T_{SP} + P_{th} \cdot R_{th}$$

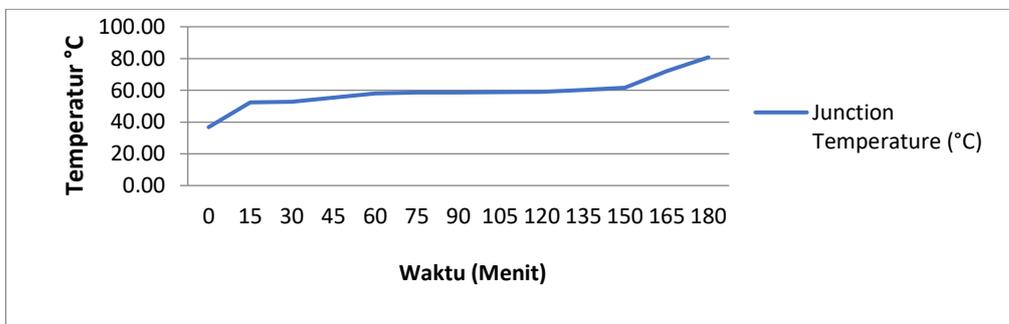
Hasil perhitungan ditunjukkan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Tabel Perhitungan Sambungan (T_j) NL500A.

No	Waktu (Menit)	Temperatur pada bagian yang diukur (°C)					Berdasarkan perhitungan T_j
		LED	PCB	Casing dalam	Sirip	Ambient	
1	15	95	41,6	46,4	42,4	28,7	52,36
2	30	95,6	42	53	44,6	28,7	52,76
3	45	96,7	44,7	50,4	53,7	28,7	55,46
4	60	96,8	47,3	69,3	53,7	28,7	58,06
5	75	97,9	47,8	69,4	53,4	28,7	58,56

Dari hasil pengukuran lampu LED NL500A pada posisi di titik chip LED menunjukkan nilai rata-rata untuk temperatur adalah 98,15 °C. Sedangkan pada titik PCB menunjukkan nilai rata-rata temperatur sebesar 49,75 °C. Pada sirip menunjukkan nilai rata-rata temperatur sebesar 46,06 °C. Antara PCB dengan siri pada selisih rata-rata temperatur sebesar 3,69 °C disebabkan oleh transfer panas yang tidak maksimum. Penyebab transfer panas yang tidak maksimum adalah menggunakan *thermal grease, mounting* PCB permukaan luminer kurang merata dalam waktu yang lama bisa menyebabkan sedikitnya transfer panas antara PCB dan permukaan luminer lampu dan *chip* akan mengalami efek terbakar karena *overheat*.

Kemudian bila dilakukan perhitungan pada Tabel 3 dengan menggunakan rumus-rumus di atas, maka nilai T_j dihasilkan cenderung naik berdasarkan penggunaan lampu pada waktu yang lama, seperti yang juga ditampilkan pada grafik di Gambar 5.

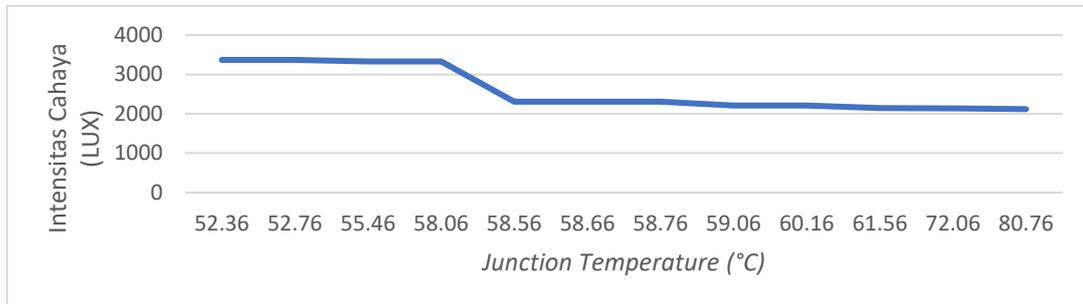


Gambar 5. Grafik *junction temperature* T_j NL500A.

Tabel 3. Pengukuran intensitas cahaya terhadap temperatur NL500A pada jarak 12 meter.

No	Pengukuran Intensitas Cahaya (Lux)	Perhitungan Temperatur T_j (°C)	Waktu (Menit)
1	3370	52,36	15
2	3370	52,76	30
3	3330	55,46	45
4	3330	58,06	60
5	2310	58,56	75

Pengukuran intensitas cahaya (lux) terhadap hasil perhitungan *junction temperature* ($^{\circ}\text{C}$) lampu NL500A dilakukan tanpa ada interferensi pencahayaan dari luar dan hasilnya sesuai dengan karakteristik *datasheet flux luminous* terhadap temperatur. Intensitas cahaya maksimum karena lampu belum mengalami kenaikan panas, hasil pengukuran maksimum di awal waktu yaitu 3370 lux dan menurun sampai 2120 lux pada menit ke 180. Data yang dihimpun dari pengukuran intensitas cahaya lampu terhadap temperatur ditampilkan dalam bentuk grafik, dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik pengukuran intensitas cahaya terhadap suhu NL500A.

3.2 Lampu NL500B

Untuk menghitung T_j lampu NL500B, maka jumlah LED Bridgelux yang digunakan adalah sebanyak 42 buah, di mana satu baris modul terdiri dari 7 LED dan modulnya berjumlah 6. Dan arus $LED I_F$ untuk LED sebesar 1.9A. Perhitungan daya digunakan Persamaan (1) dan daya ter,al menggunakan Persamaan (2), sebagai berikut:

$$P_{input} = (6V) \times (1.9A) \times (42 \text{ LED}) = 478.8 \text{ Watt}$$

$$\text{Daya terukur} = 482.3 \text{ Watt}$$

Total daya termal yang dihasilkan oleh LED akibat dari tegangan maju dan arus maju LED maka

$$P_{th} = P_{input} - P_{lampu} = ((P_{input} \cdot \eta_{driver}) \eta_{LED})$$

$$= (482.3W) - (((482.3W) \times (95\%)) \times (25\%)) = 367,75 \text{ W}$$

R_{th} diperoleh dari datasheet 0,9 $^{\circ}\text{C}/\text{W}$, Total LED yang terpasang sebanyak 42

Untuk menghitung temperatur pada *junction* digunakan Persamaan (3) sebagai berikut:

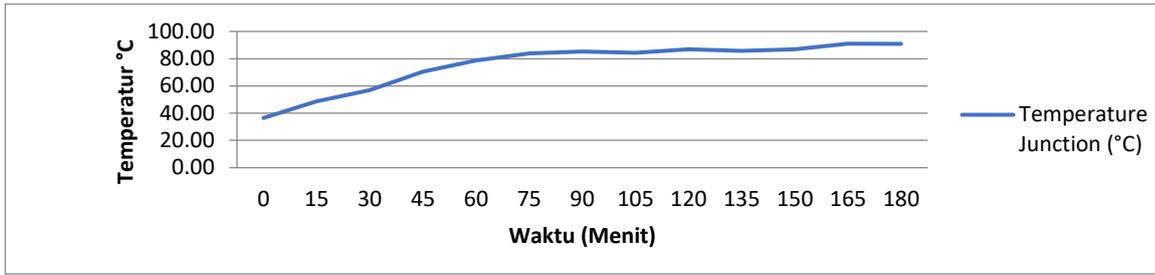
$$T_j = T_{SP} + P_{th} \cdot R_{th} \quad (3)$$

Hasil perhitungan ditunjukkan dalam bentuk Tabel 4.

Tabel 4. Tabel Perhitungan Sambungan (T_j) NL500B.

No	Waktu (Menit)	Temperatur Pada Bagian yang diukur ($^{\circ}\text{C}$)					Berdasarkan perhitungan T_j
		LED	PCB	Casing dalam	Sirip	Ambient	
1	15	65,7	41	46,3	31,9	28,7	48,88
2	30	70	49,1	49	37,9	28,7	56,98
3	45	71,4	62,7	62,7	44,9	28,7	70,58
4	60	76,3	71	71,2	46,5	28,7	78,88
5	75	80,1	76	76,1	55,6	28,7	83,88

Dari hasil pengukuran temperatur casing dalam dengan sirip yang masing-masing rata-rata temperaturnya adalah $74,40^{\circ}\text{C}$ dan $55,96^{\circ}\text{C}$ menunjukkan ada selisih $18,46^{\circ}\text{C}$. Transfer panas lebih baik dibanding dengan NL500A, bisa dilihat dari data di titik sirip panasnya lebih tinggi daripada NL500A dan cenderung naik sesuai dengan peningkatan waktu terukur dan akan mengalami panas yang cenderung stabil pada sirip. Hasil dari Tabel 4 di atas kemudian ditampilkan ke dalam bentuk grafik pada Gambar 7.



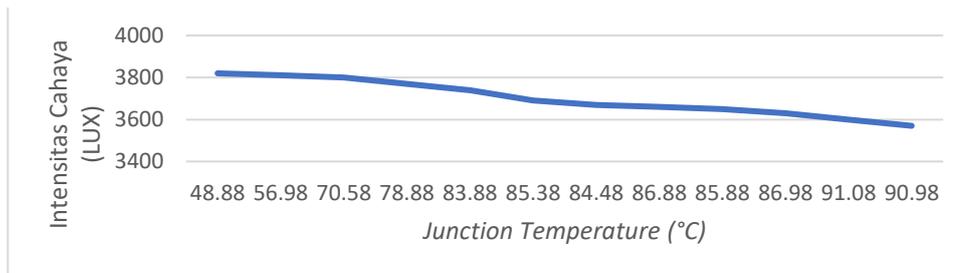
Gambar 7. Grafik junction temperature Tj NL500B

Langkah selanjutnya adalah pengukuran intensitas cahaya lampu LED NL500B prosesnya sama dengan yang dilakukan lampu NL500A diukur pada jarak 12 meter antara lux meter dengan lampu kemudian hasil pengukuran dicatat setiap lima belas menit seperti Tabel 5.

Tabel 5. Tabel Pengukuran Intensitas Cahaya Terhadap Temperatur NL500B Pada Jarak 12 Meter.

No	Pengukuran Intensitas Cahaya (Lux)	Perhitungan Temperatur Tj (°C)	Waktu (Menit)
1	3820	48,88	15
2	3810	56,98	30
3	3800	70,58	45
4	3770	78,88	60
5	3740	83,88	75

Pengukuran intensitas cahaya dengan temperatur lampu NL500B dilakukan untuk mengetahui apakah ada perubahan bila suhu pada lampu mengalami kenaikan akan berpengaruh terhadap intensitas cahaya lampu, pengukuran dilakukan pada jarak 12 meter antara Lux meter dan lampu yang akan diukur, kemudian data hasil pengukuran dicatat setiap lima belas menit pada Tabel 5. Data yang dihimpun dari pengukuran intensitas cahaya lampu terhadap temperatur ditampilkan dalam bentuk grafik, dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik pengukuran intensitas cahaya terhadap suhu sambungan NL500B

3.3 Lampu NL500C

Seperti di tunjukan pada tabel 3.1 Lampu NL500C dari segi kontruksi memiliki persamaan dengan lampu NL500D perbedaanya adalah lampu NL500C menggunakan LED Cree XHP70 sedangkan NL500D menggunakan LED Nichia 149AM, Untuk menghitung T_j lampu NL500C yang menggunakan LED Cree XHP70. Lampu NL500C menggunakan LED XHP70 32 buah dan arus LED I_F sebesar 1.5A sesuai dengan batasan *datasheet* agar arus ini tidak menimbulkan panas yang berlebih pada lampu dan menghasilkan daya 500W.

Untuk I_F sebesar 1.5 A dan V_F tegangan maju LED 12V satu PCB terdiri dari 4 seri LED dan satu lampu ada 4 paralel (2 PCB diseri) sehingga total tegangan sebesar 72V.

$$P_{input} = V_f \cdot I_f$$

$$P_{input} = (12V) \times (1.3A) \times (32 \text{ LED}) = 499,2 \text{ Watt}$$

$$\text{Daya terukur} = 504.4 \text{ Watt}$$

Total daya termal yang dihasilkan oleh LED akibat dari tegangan maju dan arus maju LED maka

$$P_{th} = P_{input} - P_{lampu} = ((P_{input} \cdot \eta_{driver}) \eta_{LED})$$

$$= (504.4 \text{ W}) - (((504.4 \text{ W}) \times (95\%)) \times (25\%)) = 384.605 \text{ W}$$

R_{th} diperoleh dari *datasheet* 0,9 °C/W, Total LED yang terpasang sebanyak 32.

Dan untuk menghitung temperatur pada *junction*

$$T_j = T_{SP} + P_{th} \cdot R_{th}$$

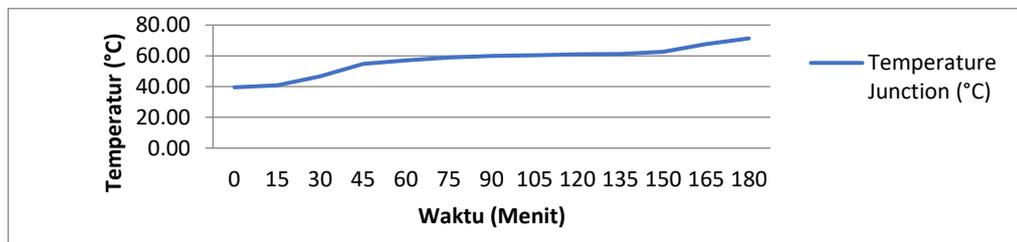
Hasil perhitungan ditunjukkan dalam bentuk Tabel 6.

Tabel 6. Tabel Perhitungan Sambungan (T_j) NL500C.

No	Waktu (Menit)	Temperatur Pada Bagian yang diukur (°C)					Berdasarkan perhitungan T_j
		LED	PCB	Casing dalam	Sirip	Ambient	
1	15	30,5	30	30	30	28,5	40,82
2	30	45,6	35,9	38,2	37,9	28,5	46,72
3	45	55,9	43,9	43,6	44,7	28,5	54,72
4	60	73	46,3	45,7	41,8	28,5	57,12
5	75	76	48	46	43,1	28,5	58,82

Dari hasil pengukuran menunjukkan bahwa transfer panas antara casing dalam dengan sirip adalah perbedaan yang sedikit dengan selisih nilai rata-rata temperturnya adalah 0,61 °C. Bisa disimpulkan bahwa transfer panasnya lebih maksimal dibandingkan dengan NL500A dengan selisih nilai rata-rata temperatur 17,58 °C dan NL500B dengan selisih nilai rata-rata temperatur 17,86 °C. Hal itu karena NL500C menggunakan *thermal interface material (thermal path)* dan menggunakan luminera luminiu mekstrusi, seperti juga NL500D dengan bahan dan dimensi yang sama. Meskipun pada NL500C menggunakan tipe LED chip yang sama dengan NL500A hasilnya NL500C diprediksi lebih tahan lama dan intensitas cahayanya lebih baik.

Hasil dari Tabel 6, kemudian ditampilkan ke dalam bentuk grafik pada Gambar 9.



Gambar 9. Grafik *junction temperature* T_j NL500C.

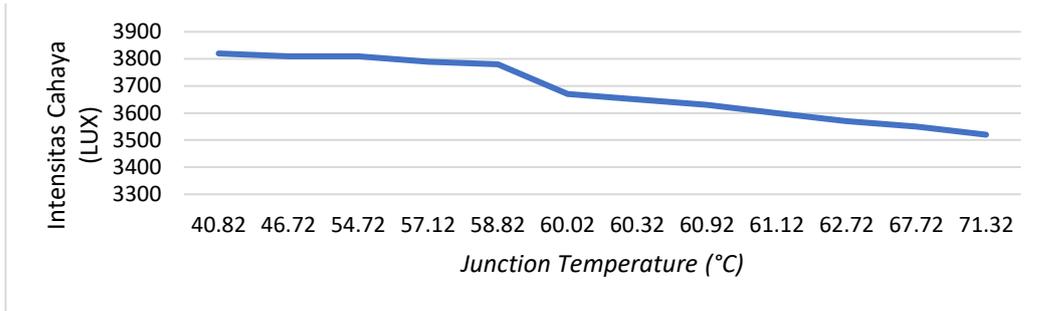
Berikut adalah pengukuran intensitas cahaya lampu NL500C dan hasil pengukuran temperatur pada *Solder Point* hasilnya kemudian ditampilkan kedalam bentuk grafik, untuk tabel pengukuran ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Pengukuran Intensitas Cahaya Terhadap Temperatur NL500C Pada Jarak 12 Meter.

No	Pengukuran Intensitas Cahaya (Lux)	Perhitungan Temperatur T_j (°C)	Waktu (Menit)
1	3820	40,82	15
2	3810	46,72	30
3	3810	54,72	45
4	3790	57,12	60
5	3780	58,82	75

Pengukuran intensitas cahaya dengan temperatur lampu NL500C dilakukan untuk mengetahui apakah ada perubahan bila suhu pada lampu mengalami kenaikan akan berpengaruh terhadap intensitas cahaya lampu, pengukuran dilakukan pada jarak 12 meter antara Lux meter dan lampu yang akan diukur, kemudian data hasil pengukuran dicatat setiap lima belas menit pada Tabel 7.

Data yang dihimpun dari pengukuran intensitas cahaya lampu terhadap temperatur ditampilkan dalam bentuk grafik, dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Grafik pengukuran intensitas cahaya terhadap suhu NL500C.

3.4 Lampu NL500D

Untuk menghitung T_j lampu NL500D yang menggunakan LED Nichia 149 AM dengan menggunakan LED Nichia sebanyak 32 buah dan arus LED I_f sebesar 1.72A sesuai dengan batasan *datasheet* agar arus ini tidak menimbulkan panas yang berlebih pada lampu dan menghasilkan daya 500W.

Untuk I_f sebesar 1.72 A dan V_f tegangan *forward* LED 9V satu PCB terdiri dari 4 seri LED dan satu lampu ada 4 paralel (2 PCB diseri) sehingga total tegangan sebesar 36V. Skematik Lampu NL500A, C dan D terdapat pada Gambar 3.

$$P_{input} = V_f \cdot I_f$$

$$P_{input} = (9V) \times (1.72A) \times (32 \text{ LED}) = 495.36 \text{ Watt}$$

$$\text{Daya terukur} = 500.9 \text{ Watt}$$

Total daya termal yang dihasilkan oleh LED akibat dari tegangan maju dan arus maju LED maka

$$P_{th} = P_{input} - P_{lampu} = ((P_{input} \cdot \eta_{driver}) \eta_{LED})$$

$$= (500.9W) - (((500.9W) \times (95\%)) \times (25\%)) = 381.94 \text{ W}$$

R_{th} diperoleh dari *datasheet* 1,4 °C/W, Total LED yang terpasang sebanyak 32

Dan untuk menghitung temperatur pada *junction*

$$T_j = T_{SP} + P_{th} \cdot R_{th}$$

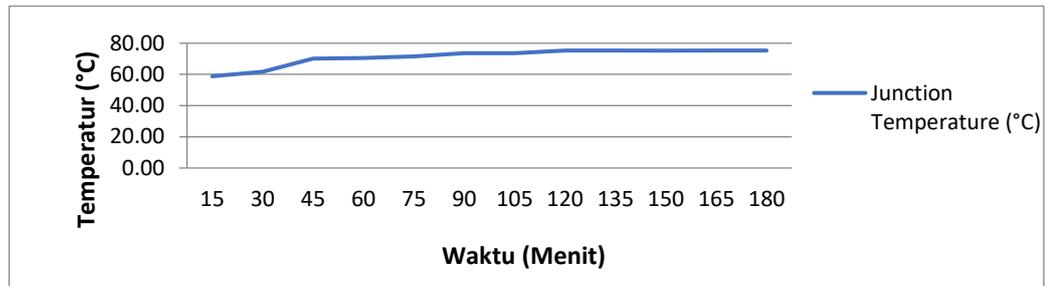
Hasil perhitungan ditunjukkan dalam bentuk Tabel 8.

Tabel 8. Tabel Perhitungan Sambungan (T_j) NL500D

No	Waktu (Menit)	Temperatur Pada Bagian yang diukur (°C)					Berdasarkan perhitungan T_j
		LED	PCB	Casing dalam	Sirip	Ambient	
1	15	30	30,0	30	63	28,7	58,81
2	30	35,9	38,2	37,9	67,9	28,7	61,81
3	45	43,9	42,0	44,7	70	28,7	70,11
4	60	46,3	45,7	41,8	73	28,7	70,61
5	75	48	46	43,1	76	28,7	71,61

Dari hasil pengukuran menunjukkan bahwa transfer panas antara casing dalam dengan sirip hampir sama pada NL500D dengan selisih nilai rata-rata temperaturnya adalah 0,56 °C. Bisa disimpulkan bahwa transfer panasnya lebih maksimal dibandingkan dengan NL500A dengan selisih nilai rata-rata temperatur 17,58 °C, NL500B dengan selisih nilai rata-rata temperatur 17,86 °C dan NL500C dengan selisih nilai rata-rata temperatur 0,61 °C. Hal itu karena NL500D menggunakan *thermal path* yang sama dengan yang dipakai oleh NL500C. Secara fisik dimensi dan bahan yang dipakai oleh NL500D sama dengan NL500C kecuali chip LED menggunakan tipe Nichia 149MT sedang NL500C menggunakan tipe Cree XHP-70.

Hasil dari tabel di atas kemudian ditampilkan kedalam bentuk grafik pada Gambar 11.



Gambar 11. Grafik junction temperature Tj NL500D.

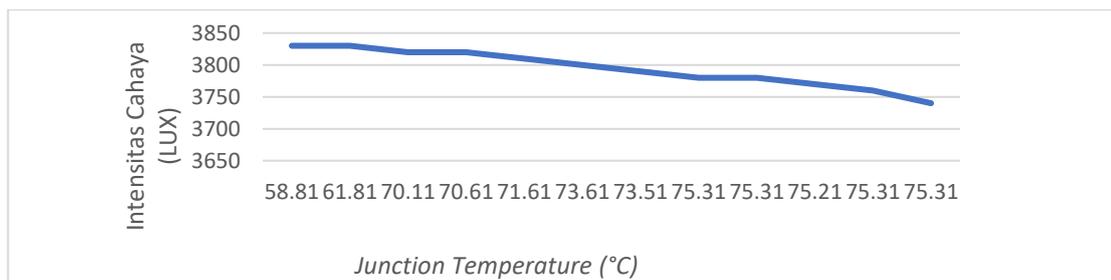
Berikut adalah pengukuran intensitas cahaya lampu NL500D dan hasil pengukuran temperatur pada *Solder Point* hasilnya kemudian ditampilkan kedalam bentuk grafik, untuk tabel pengukuran ditunjukkan pada Tabel 9.

Tabel 9. Pengukuran Intensitas Cahaya Terhadap Temperatur NL500D Pada Jarak 12 Meter

No	Pengukuran Intensitas Cahaya (Lux)	Perhitungan Temperatur Tj (°C)	Waktu (Menit)
1	3830	58,81	15
2	3830	61,81	30
3	3820	70,11	45
4	3820	70,61	60
5	3810	71,61	75

Pengukuran intensitas cahaya dengan temperatur lampu NL500D dilakukan untuk mengetahui apakah ada perubahan bila suhu pada lampu mengalami kenaikan akan berpengaruh terhadap intensitas cahaya lampu, pengukuran dilakukan pada jarak 12 meter antara Lux meter dan lampu yang akan diukur, kemudian data hasil pengukuran dicatat setiap lima belas menit pada Tabel 9.

Data yang dihimpun dari pengukuran intensitas cahaya lampu terhadap temperatur ditampilkan dalam bentuk grafik, dapat dilihat pada Gambar 12.



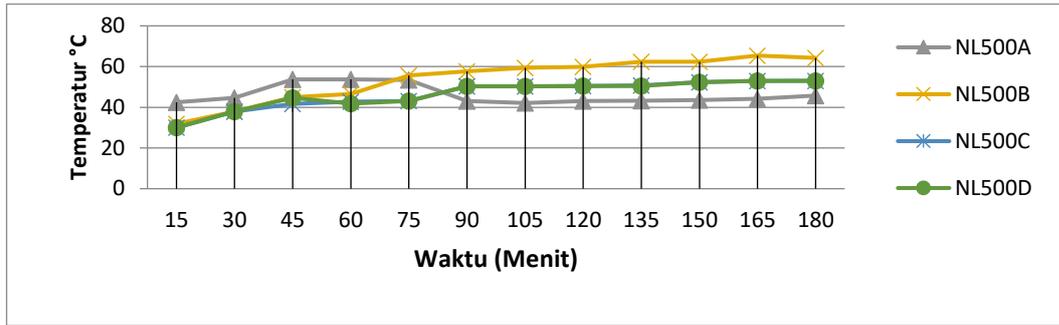
Gambar 12. Grafik pengukuran intensitas cahaya terhadap suhu NL500D.

Tabel 10 adalah perbandingan dari masing-masing lampu LED serial NL500 pada pengukuran temperatur sirip,

Tabel 10. Hasil Pengukuran Temperatur (°C) Pada Sirip lampu

No	Tipe Lampu	Waktu (Menit)											
		15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
1	NL500A	42,4	44,6	53,7	53,7	53,4	43	42,1	43,1	43,2	43,6	44,2	45,8
2	NL500B	31,9	37,9	44,9	46,5	55,6	57,6	59,4	59,9	62,3	62,3	65,4	64,3
3	NL500C	30	37,9	41,7	42,8	43,1	50,3	50,3	50,5	50,8	52,3	52,9	53
4	NL500D	30	37,9	44,7	41,8	43,1	50,3	50,3	50,5	50,5	52,3	52,9	53

Dari perbandingan hasil pengukuran yang tertera pada grafik (lihat Gambar 13) menunjukkan bahwa temperatur pada sirip masing-masing lampu mempunyai karakteristik sesuai dengan kondisi model *heatshink*, pada lampu NL500A temperatur sirip lebih kecil daripada NL500 lainnya hal ini disebabkan oleh penggunaan material antara PCB dengan *body* menggunakan pendingin pasta/ *thermal grease* sedangkan yang lain menggunakan *thermal pad* yang lebih merata kepermukaan rumah lampu.



Gambar 13. Grafik hasil pengukuran temperatur (°C) pada sirip lampu.

Perbandingan lampu LED dengan lampu Metal halide HPI-T pada Tabel 11 dan biaya 1 tahun aktivitas *tower lamp* NPL04 ada di Tabel 12

Tabel 11. Perbandingan lampu LED terhadap lampu Metal Halide

Deskripsi	Lampu LED				Lampu Metal halide Konvensional
	NL500A	NL500B	NL500C	NL500D	Phillips Master HPI-T
Daya (Watt)	500W	500W	500W	500W	400W
Chip	Cree XHP70	Bridge lux	Cree XHP70	Nichia 149	-
Efikasi (Lm/Watt)	110	110	110	133	83
Total Lumen	55000	55000	55000	55000	33200
Usia pakai (Jam)	50.000	50.000	50.000	50.000	3000
Harga (Rp)	15.000.000	15.000.000	15.000.000	17.000.000	1.416.000
Distribusi cahaya	lensa	lensa	lensa	lensa	reflektor
Temperatur(°C)	80	80	80	80	210
Waktu penyalaan	Langsung				Butuh waktu beberapa menit untuk menyala terang

(Phillips, 2021)

Tabel 12. Biaya untuk 1 Tahun Aktivitas *Tower lamp* NPL-04.

Deskripsi	Lampu HPI-T	Lampu dengan LED
Jumlah	8 Buah lampu HPI-T 400Watt	4 Buah lampu LED 500Watt
Investasi	Lampu Rp. 1.416.000 x 8 = Rp. 11.328.000	Lampu Rp.17.000.000x 4 = Rp 68.000.000
Konsumsi bahan bakar	(12 jam x 30 hari) Konsumsi bahan bakar 4 liter/jam	(12 jam x 30 hari)Konsumsi bahan bakar 2 liter/jam
	4 Liter x 12 Jam x 30 Hari = 1440 Liter	2 Liter x 12 Jam x 30 Hari = 720 Liter
	1.440 Liter/bulan x Rp. 9600/Liter x 12 bln = Rp 165.888.000/tahun	720 Liter/bulan x Rp. 9600/liter x 12 bln = Rp. 82.944.000/ tahun
Umur lampu	5000 jam = 416 hari = 0,877 lampu/tahun	50.000 jam = 4166 hari = 0,08 lampu/tahun
	0,877 x Rp. 11.328.000 = Rp. 9.934.656/tahun	0,08 x Rp. 68.000.000 = 5.440.000 /tahun
Total Biaya/tahun	Investasi + Konsumsi bahan bakar + Umur lampu	Investasi + Konsumsi bahan bakar + Umur lampu
	Rp. 11.328.000 + 165.888.000 + 9.934.656 =Rp 187.150.656	Rp 68.000.000 + 82.944.000 + 5.440.000 = Rp. 156.384.600

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil data dan analisis dari empat lampu yang diamati, hasil perhitungan *junction temperature* (T_j) dapat ditarik kesimpulan:

1. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa *junction temperature* (T_j) NL500A, NL500B, NL500C, dan NL500D masih memenuhi standar datasheet maksimum yaitu 150 °C. Namun dari latar belakang masalah ada poin penting yang harus diperhatikan, yaitu:
 - a. Adanya chip LED yang mati di satu titik dari 8 seri modul secara visual adanya *overheat* pada titik tertentu sehingga satu sirkuit serial LED mati disebabkan karena antara PCB dan rumah

- lampu tidak menempel secara merata sehingga transfer panasnya tidak maksimal melalui sirip.
- b. Penggunaan *thermal interface material* (TIM) dalam bentuk thermal pad lebih baik untuk menutupi sisi permukaan antara PCB aluminium dan rumah lampu sehingga tidak ada rongga udara.
2. Dari hasil pengukuran junction temperature (T_j) NL500C paling baik untuk transfer panasnya sehingga nilai T_j nya paling kecil dengan nilai rata-rata 58,52 karena resistance thermal = $0.9\text{ }^\circ\text{C/Watt}$. NL500D unggul di intensitas cahaya dengan nilai rata-rata 3794,16 lux.
 3. Activity based costing untuk unit *tower lamp* sebagai penyedia daya lampu batu bara yang terbaik menggunakan lampu LED jenis lampu NL500D dengan efisiensi 133.64 Lm/watt dalam satu tahun menghemat biaya sebesar 16% atau Rp. 30.766.656
 4. Dari hasil analisa data dan perbandingan dengan lampu konvensional maka pemilihan lampu tambang yang tepat adalah menggunakan lampu jenis LED karena usia pakai yang lama sehingga memerlukan sedikit perawatan. Efikasi yang lebih tinggi maka pencahayaan lebih maksimal dibandingkan dengan lampu Metal Halida.

Daftar Pustaka

1. Arikunto, S. (2006). *Prosedur Penelitian Kuantitatif*. Jakarta, Indonesia: Rineka Cipta.
2. BSN. (2009). SNI IEC 60969-2009 Lampu swa-ballast untuk pelayanan pencahayaan umum - Persyaratan Unjuk Kerja. Jakarta.
3. Cree. Product Family Datasheet Cree® Xlamp® XHP70 LEDs. Cree.
4. Institut Teknologi Bandung. (2016). Hasil Pengujian Distribusi Intensitas Cahaya Luminer. Bandung: Laboratorium Fisika Bangunan & Akustik ITB.
5. Inventronics. (2020). Datasheet EUD-480SxxxDV. <https://www.inventronics-co.com/product/eud-480sxxxdv/> .
6. Inventronics. (2020). Datasheet EUD-600SxxxDV. <https://www.inventronics-co.com/product/eud-600sxxxdv/> .
7. Kevin Tan. (2017). *Thermal Management Introduction*. Penang: Orsam Semiconductor.
8. Lumileds. (2020). Datasheet Luxeon 5050. <https://www.lumileds.com/wp-content/uploads/files/DS174-luxeon-5050-datasheet.pdf>.
9. Muhaimin, D. (2014). *Teknologi Pencahayaan*. Bandung, Indonesia: Refika Aditama.
10. Nichia. (2018). *Optical Reference*. Nichia.
11. Nichia. (2020). Specification for White LED. Available at : http://www.nichia.co.jp/en/product/led_product_data.html?type=%27NV9W149AM%27 .
12. Nurrohman, R. H. (2017). Fakultas Teknik Universitas Ibn Khaldun Bogor. Studi Ekperimental Pendingin Pasif Lampu Light Emitting Diode Untuk Aplikasi Pada Penerangan Ruang .
13. Phillips. (2021). https://www.lighting.philips.co.id/id/prof/conventional-lamps-and-tubes/lampu-pelepasan-berintensitas-tinggi/halida-logam-kuarsa/master-hpi-t-plus/928481600096_EU/product.
14. Poppe, C. J. (2014). *Thermal Management for LED Applications*. Springer.
15. Schutt, E. (2014). *Thermal Management and Design Optimization for High Power LED Work Light*. Arcada.
16. Semiconductor, O. (2020). Datasheet LED Osram E3. https://www.osram.com/ecat/DURIS%C2%AE%20E%203%20GW%20JCLPS2.EM/com/en/class_pim_web_catalog_103489/global/prd_pim_device_2402398/ .
17. SNI-03-6575-2001. (2001). *Tata Cara Sistem Pencahayaan Buatan Pada Bangunan dan Gedung*. BSN.
18. SNI-6959-1-2003. (2003). *Perlengkapan Kendali Lampu Bagian 1 Persyaratan Umum dan Keselamatan*. BSN.
19. Sucofindo. (2019). *Report of Testing NL500D*. Bekasi: Sucofindo.
20. Sugiyono, P. D. (2017). *Metode Penelitian Kualitatif, Kuantitatif dan R&D*. Indonesia: Alfabet.