

Draft TA_Rinaldy Josua_18734025 (1)

by Manuru Turnitin

Submission date: 19-Aug-2023 02:12PM (UTC+0800)

Submission ID: 2147875191

File name: Draft_TA_Rinaldy_Josua_18734025_1.pdf (4.64M)

Word count: 22547

Character count: 131219

**ANALISIS TINGKAT ILUMINASI PADA RUANG KERJA
LDC TRADING INDONESIA MENGGUNAKAN *SOFTWARE*
DIALUX EVO 10.1**

11

(Laporan Tugas Akhir Mahasiswa)

Oleh

Rinaldy Josua Fenro
NPM 18734025



POLITEKNIK NEGERI LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023

**ANALISIS TINGKAT ILUMINASI PADA RUANG KERJA
LDC TRADING INDONESIA MENGGUNAKAN *SOFTWARE*
DIALUX EVO 10.1**

Oleh

**Rinaldy Josua Fenro
NPM 18734025**

**11
Laporan Tugas Akhir Mahasiswa**

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Sebutan
Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Kimia Industri (S.Tr.T.)
pada
Jurusan Teknologi Pertanian



**POLITEKNIK NEGERI LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

HALAMAN PENGESAHAN

1. **Judul Tugas Akhir** : Analisis Tingkat Iluminasi pada Ruang Kerja LDC Trading Indonesia Menggunakan *Software DIALux evo 10.1*
2. **Nama Mahasiswa** : Rinaldy Josua Fenro
3. **Nomor Pokok Mahasiswa** : 18734025
4. **Program Studi** : Teknologi Rekayasa Kimia Industri
5. **Jurusan** : Teknologi pertanian

Menyetujui,

Dosen Pembimbing I,

Dosen Pembimbing II,

Devy Cendekia, S.Si., M.Si.
NIP 19880914 201903 2 016

Livia Rhea Alvita, S.Si., M.Si.
NIP 19900711 201903 2 017

35

Ketua Jurusan
Teknologi Pertanian,

Didik Kuswadi, S.T.P., M.Si.
NIP 19690116 199402 1 001

Tanggal Ujian: 16 Agustus 2023

HALAMAN PERSETUJUAN

1. Tim Penguji

Penguji I : Dewi Ermaya, S.T.P., M.T. (.....)

Penguji II : Yeni Ria Wulandari, S.T., M.Sc. (.....)

2. Ketua Jurusan Teknologi Pertanian,

Didik Kuswadi, S.T.P., M.Si.
NIP 19690116 199402 1 001



Tanggal Lulus Ujian Tugas Akhir: 16 Agustus 2023

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Mahasiswa : Rinaldy Josua Fenro

NPM : 18734025

Program Studi : D4 Teknologi Rekayasa Kimia Industri

Jurusan : Teknologi Pertanian

Dengan ini menyatakan bahwa judul Tugas Akhir **“Analisis Tingkat Iluminasi pada Ruang Kerja LDC Trading Indonesia Menggunakan DIALux evo 10.1”** benar bebas dari plagiat, dan apabila pernyataan ini terbukti tidak benar maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan aturan yang berlaku.

Demikian surat ini saya buat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Bandar Lampung, 16 Agustus 2023

Saya yang membuat pernyataan,

Rinaldy Josua Fenro



Penulis dilahirkan pada tanggal 21 Juli 2000 di Bandar Lampung. Penulis adalah anak pertama dari tiga bersaudara dari pasangan Ayahanda Ropijon AS dan Ibunda Fenty Astika. Penulis menyelesaikan pendidikan sekolah dasar di SD Negeri 2 Rajabasa tahun 2012, sekolah menengah pertama di SMP Negeri 22 Bandar Lampung tahun 2015, dan sekolah menengah atas di SMK-SMTI Bandar Lampung tahun 2018. Pada bulan Juli tahun 2018, penulis terdaftar di sebagai mahasiswa di Politeknik Negeri Lampung Jurusan Teknologi Pertanian Program Studi Teknologi Rekayasa Kimia Industri (TRKI) melalui jalur Ujian Masuk Politeknik Negeri (UMPN). Selama menjalani pendidikan di Politeknik Negeri Lampung penulis aktif dalam organisasi Badan Eksekutif Mahasiswa (BEM) sebagai Wakil Menteri Komunikasi dan Informasi tahun 2019–2020. Selain itu, penulis juga aktif dalam Himpunan Mahasiswa Teknologi Rekayasa Kimia Industri (HIMATEKIN) sebagai Kepala Departemen Publikasi tahun 2021–2022. Untuk organisasi luar kampus, penulis juga aktif dalam Badan Koordinasi kegiatan Mahasiswa Teknik Kimia se-Indonesia (BKKMTKI Daerah I) sebagai Pengurus Daerah Bidang Dana dan Usaha. Penulis tercatat sebagai penerima Beasiswa Peningkatan Prestasi Akademik (B-PPA) tahun 2019 dan penerima dana hibah Program Kreativitas Mahasiswa (PKM) oleh Kemendikbudristek tahun 2021. Penulis memperoleh gelar Duta Lingkungan Kampus tahun 2019. Penulis telah melaksanakan Praktik Kerja Nyata (PKN) selama 27 hari di Desa Hajimena, Kecamatan Natar, Kabupaten Lampung Selatan. Penulis juga telah menyelesaikan Praktik Kerja Lapangan (PKL) selama 123 hari di PT Anaktuha Sawit Mandiri Lampung Tengah pada bagian CPO *processing* dan laboratorium, serta telah menjalani program Magang dan Studi Independen Bersertifikat (MSIB) di LDC Trading Indonesia Bandar Lampung selama enam bulan (Februari s.d. Juli tahun 2022) pada bagian *coffee processing*, *warehousing*, *quality controlling*, SHE, dan *human resources*.

MOTO

*“Barangsiapa mengerjakan suatu kebaikan sekecil apapun, pasti akan
mendapat balasannya”*

(Q.S. Al-Zalzalah ayat 7)

58
*“Tidak perlu sampai menjelaskan tentang dirimu, karena yang menyukaimu
tidak butuh itu dan yang membencinya tidak akan percaya itu”*

(Ali bin Abi Thalib)

*“Di balik satu kemudahan akan ada sembilan kesulitan dan di balik satu kesulitan
akan ada sembilan kemudahan”*

(Devy Cendekia)

*“Selalu pelajari hal apapun di sekitar, karena semua itu menjadi penolong
dalam menjalani hidup ke depan”*

(Rinaldy Josua Fenro)

PERSEMBAHAN

85

Saya persembahkan tugas akhir ini kepada kedua orang tua yang luar biasa Ibunda Fenty Astika dan Ayahanda Ropijon AS, kedua orang yang sangat saya kasihi yang tiada hentinya memberi dukungan dalam hal apapun, kasih sayang yang tulus, motivasi dan lantunan doa yang selalu mempermudah urusan sampai saya berada di tahap ini. Kepada kedua adik saya, Andre Chandra Irawan dan Reky Setya Purnama yang luar biasa memberikan banyak dukungan dan memotivasi dalam menyelesaikan masa studi yang tidak mudah.

Tugas akhir ini saya persembahkan kepada sahabat dan teman mahasiswa yang telah kebersamai sejak awal perkuliahan, memberikan arahan, mendengarkan serta memberi semangat dalam menjalankan masa studi.

79

Tugas akhir ini saya persembahkan untuk diri saya sendiri. Terimakasih sudah berani memulai, terima kasih untuk tidak berhenti sebelum waktunya, dan terima kasih telah menyelesaikan banyak hal. –

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah Swt. yang selalu memberikan rahmat dan karunia-Nya, sehingga saya dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir berjudul “Analisis Tingkat Iluminasi pada Ruang Kerja LDC Trading Indonesia Menggunakan Software DIALux evo 10.1” dengan baik. Salawat dan salam senantiasa tercurah kepada Rasulullah saw. yang mengantarkan manusia dari zaman kegelapan ke zaman yang terang ini. Penyusunan tugas akhir ini dimaksudkan sebagian syarat guna mencapai gelar Sarjana Terapan Teknik (S.Tr.T.) di Politeknik Negeri Lampung.

Saya sadar bahwa penulisan ini tidak dapat terselesaikan tanpa dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, saya ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan Tugas Akhir ini terutama kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Sarono, M.Si. selaku Direktur Politeknik Negeri Lampung.
2. Bapak Didik Kuswadi, S.T.P., M.Si. selaku Ketua Jurusan Teknologi Pertanian Politeknik Negeri Lampung.
3. Ibu Dewi Ermaya, S.T.P., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknologi Rekayasa Kimia Industri Politeknik Negeri Lampung.
4. Ibu Devy Cendekia, S.Si., M.Si. dan Ibu Livia Rhea Alvita, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing yang telah bersedia membimbing, memberi masukan, dan mengarahkan saya selama menyusun Tugas Akhir dan memberikan banyak ilmu serta solusi pada setiap permasalahan atas kesulitan dalam penulisan Tugas Akhir ini.
5. Bapak/Ibu dosen dan teknisi Program Studi Teknologi Rekayasa Kimia Industri yang telah memberikan pengetahuan yang sangat bermanfaat selama masa perkuliahan.

6. Bapak/Ibu karyawan LDC Trading Indonesia yang telah banyak membantu, membimbing, dan mengarahkan selama masa program Magang dan Studi Independen Bersertifikat (MSIB).
 7. Kedua orang tua, ayah tercinta Ropijon AS dan ibu tersayang Fenty Astika yang telah memberikan dukungan baik morel maupun materiel serta doa yang tiada henti.
 8. Teman-teman seperjuangan angkatan 2018 Program Studi Diploma IV Teknologi Rekayasa Kimia Industri yang selama ini selalu mendampingi dan membantu penulis dari awal masuk kuliah sampai akhir studi.
 9. Sahabat tercinta, Reza Fadilah dan Faris Ammar Diputra yang kebersamaian dan memberi banyak dukungan selama masa perkuliahan.
 10. Sahabat luar biasa, Raihan Izha Mahendra dan Ditya Pratiwi yang senantiasa menyemangati, memberi dukungan, dan arahan dalam penyelesaian tugas akhir ini.
 11. Terima kasih juga kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini yang tidak dapat disebutkan satu per satu.
- Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna karena keterbatasan pengalaman dan pengetahuan yang dimiliki. Maka dari itu, saya mengharapkan segala saran dan kritik yang membangun. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan semua pihak.

Bandar Lampung, 16 Agustus 2023

Rinaldy Josua Fenro

ANALISIS TINGKAT ILUMINASI PADA RUANG KERJA LDC TRADING INDONESIA MENGGUNAKAN *SOFTWARE* DIALUX EVO 10.1

Oleh

Rinaldy Josua Fenro

RINGKASAN

Ruang kerja yang baik adalah ruangan yang memberikan kenyamanan visual dan ergonomis, sehingga dalam merancang ruang kerja perlu memperhatikan kondisi pencahayaan di dalam ruangan. Kondisi pencahayaan atau tingkat iluminasi juga merupakan salah satu faktor lingkungan kerja yang memberikan pengaruh terhadap produktivitas pekerja. Risiko kelelahan mata dan stres kerja dapat meningkat akibat iluminasi yang buruk. Adapun tujuan dari penelitian ini, yaitu untuk mengetahui kesesuaian tingkat iluminasi pada tiap meja kerja pada ruang *office* dan ruang *quality control* LDC Trading Indonesia berdasarkan standar pencahayaan PERMENAKER Nomor 5 Tahun 2018, serta memberikan usulan perbaikan terhadap tingkat iluminasi ruangan tersebut. Ruang *office* dan *quality control* merupakan ruang kerja penunjang utama untuk aktivitas kantor dan pengujian mutu produk biji kopi. Kedua ruangan ini memerlukan sistem pencahayaan yang tepat sehingga hasil pekerjaan menjadi optimal dan pekerja mendapatkan kenyamanan visual dalam bekerja. Hasil pengukuran langsung menunjukkan tingkat iluminasi pada meja kerja ruang *office* berkisar 72–180 lx, dimana seluruh titik belum memenuhi standar pencahayaan. Sementara pada ruang *quality control* berkisar 74–1.410 lx, dimana hanya sebagian titik yang telah memenuhi standar pencahayaan. Hasil penelitian melalui simulasi pencahayaan menggunakan DIALux evo 10.1 menunjukkan bahwa penggantian lampu eksisting dengan lampu PHILIPS LEDtube 17,6 W 3.700 lm sebanyak 11 unit, dan PHILIPS LEDtube 11,9 W 2.500 lm sebanyak 5 unit dapat meningkatkan iluminasi pada meja kerja sebesar 43–74% pada ruang *office* dan sebesar 1–79% pada ruang *quality control*. Sehingga kedua ruangan ini telah memenuhi standar pencahayaan dan lebih layak dilakukan aktivitas pekerjaan.

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang dan Masalah	1
1.2 Tujuan.....	2
1.3 Manfaat.....	2
II. TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Definisi Pencahayaan	3
2.2 Istilah dalam Pencahayaan	3
2.3 Perhitungan Tingkat Iluminasi	4
2.4 Sistem Pencahayaan Alami	7
2.5 Sistem Pencahayaan Buatan	8
2.6 Regulasi yang Mengatur Standar Pencahayaan	10
2.7 Hubungan Tingkat Iluminasi terhadap Penyakit Akibat Kerja	11
2.8 Diagram Tulang Ikan	13
2.9 <i>Software</i> DIALux	14
2.10 Penelitian Terdahulu	16
III. METODE PELAKSANAAN	17
3.1 Tempat dan Waktu	17
3.2 Perancangan Penelitian	17
3.3 Pengambilan Data	19
3.4 Visualisasi 3D Menggunakan DIALux evo 10.1	22
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	24
4.1 Analisis Permasalahan.....	24

4.2	Hasil Perhitungan Awal	29
4.3	Hasil Pengukuran Langsung.....	33
4.4	Simulasi Pencahayaan Alami	41
4.5	Simulasi Pencahayaan Eksisting	46
4.6	Simulasi Pencahayaan Optimalisasi	53
4.7	Analisis Perbandingan Hasil Simulasi	62
16 V.	PENUTUP	68
5.1	Kesimpulan.....	68
5.2	Saran	68
	DAFTAR PUSTAKA	71
	LAMPIRAN	74

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Nilai Koefisien Depresiasi (k_d).....	5
2. Standar Maksimum Daya Listrik	7
3. Standar Pencahayaan	10
4. Persyaratan Perangkat DIALux.....	15
5. Analisis Sebab Akibat	27
6. Bidang yang diterangi pada Ruang <i>Office</i>	30
7. Iluminasi Rata–Rata Ruang <i>Office</i>	30
8. Bidang yang diterangi pada Ruang <i>Quality Control</i>	32
9. Iluminasi Rata–Rata Ruang <i>Quality Control</i>	32
10. Hasil Pengukuran Ruang <i>Office</i>	35
11. Spesifikasi Lampu Eksisting di Ruang <i>Office</i>	36
12. Hasil Pengukuran Ruang <i>Quality Control</i>	38
13. Spesifikasi Lampu Eksisting di Ruang <i>Quality Control</i>	41
14. Hasil Simulasi Pencahayaan Alami Ruang <i>Office</i>	43
15. Hasil Simulasi Pencahayaan Alami Ruang <i>Quality Control</i>	45
16. Hasil Simulasi Pencahayaan Eksisting Ruang <i>Office</i>	48
17. Hasil Simulasi Pencahayaan Eksisting Ruang <i>Quality Control</i>	51
18. Spesifikasi Lampu Baru di Ruang <i>Office</i>	54
19. Kebutuhan Lampu Baru Ruang <i>Office</i>	54
20. Hasil Simulasi Pencahayaan Optimalisasi Ruang <i>Office</i>	56

21. Spesifikasi Lampu Baru di Ruang <i>Quality Control</i>	58
22. Kebutuhan Lampu Baru Ruang <i>Quality Control</i>	58
23. Hasil Simulasi Pencahayaan Optimalisasi Ruang <i>Quality Control</i>	60
24. Perbandingan Hasil Simulasi Ruang <i>Office</i>	64
25. Perbandingan Variabel lain pada Ruang <i>Office</i>	64
26. Perbandingan Hasil Simulasi Ruang <i>Quality Control</i>	66
27. Perbandingan Variabel Lain pada Pencahayaan Merata	66
28. Perbandingan Variabel Lain pada Pencahayaan Setempat	67

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Komponen–komponen Pencahayaan Alami	8
2. Jenis Sistem Pencahayaan Buatan	9
3. Kerangka <i>Fishbone Diagram</i>	14
4. Tampilan Kerja <i>Software DIALux evo 10.1</i>	15
5. Diagram Alur Penelitian	18
6. Alat Ukur <i>Environmental Meter M45170</i>	19
7. Penempatan Sensor Pengukuran	21
8. Diagram Alur Pengukuran Tingkat Iluminasi.....	21
9. Diagram Alur Visualisasi 3D Menggunakan <i>DIALux evo 10.1</i>	23
10. <i>Fishbone Diagram</i> pada Faktor Penyebab Masalah	25
11. Lokasi Ruangan Objek Penelitian.....	29
12. Kondisi Ruang <i>Office</i>	30
13. Kondisi Ruang <i>Quality Control</i>	31
14. Bukaan Tirai Jendela Ruang <i>Office</i>	34
15. Titik Pengukuran Ruang <i>Office</i>	34
16. Hasil Pengukuran Ruang <i>Office</i>	35
17. Partisi Musala Ruang <i>Office</i>	37
18. Titik Pengukuran Ruang <i>Quality Control</i>	38
19. Hasil Pengukuran Ruang <i>Quality Control</i>	39
20. <i>False Colors</i> Simulasi Pencahayaan Alami Ruang <i>Office</i>	42

21. Hasil Simulasi Pencahayaan Alami Ruang <i>Office</i>	43
22. <i>False Colors</i> Simulasi Pencahayaan Alami Ruang <i>Quality Control</i>	44
23. Hasil Simulasi Pencahayaan Alami Ruang <i>Quality Control</i>	45
24. <i>False Colors</i> Simulasi Pencahayaan Eksisting Ruang <i>Office</i>	47
25. Hasil Simulasi Pencahayaan Eksisting Ruang <i>Office</i>	48
26. Visualisasi 3D Simulasi Pencahayaan Eksisting Ruang <i>Office</i>	49
27. <i>False Colors</i> Simulasi Pencahayaan Eksisting Ruang <i>Quality Control</i>	50
28. Hasil Simulasi Pencahayaan Eksisting Ruang <i>Quality Control</i>	51
29. Visualisasi 3D Simulasi Pencahayaan Eksisting Ruang <i>Quality Control</i>	53
30. <i>False Colors</i> Simulasi Pencahayaan Optimalisasi Ruang <i>Office</i>	55
31. Hasil Simulasi Pencahayaan Optimalisasi Ruang <i>Office</i>	56
32. Visualisasi 3D pada Simulasi Pencahayaan Optimalisasi Ruang <i>Office</i>	57
33. <i>False Colors</i> Simulasi Pencahayaan Optimalisasi Ruang <i>Quality Control</i>	59
34. Hasil Simulasi Pencahayaan Optimalisasi Ruang <i>Quality Control</i>	61
35. Visualisasi 3D Simulasi Pencahayaan Optimalisasi Ruang <i>Quality Control</i> .	62
36. Perbandingan Hasil Simulasi Ruang <i>Office</i>	63
37. Perbandingan Hasil Simulasi Ruang <i>Quality Control</i>	65

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Arti Simbol dan Satuan	75
2. Perhitungan Luas Bidang yang diterangi	76
3. Perhitungan Nilai Iluminasi Eksisting	78
4. Perhitungan Kebutuhan Lampu Baru	81
5. Perhitungan Kepadatan Daya Lampu Eksisting	84
6. Perhitungan Kepadatan Daya Lampu Baru	86
7. Perhitungan Konsumsi Energi dan Biaya Listrik Eksisting	88
8. Perhitungan Konsumsi Energi dan Biaya Listrik Baru	91
9. Perhitungan Persentase Kenaikan Efisiensi Lampu Baru	94
10. Perhitungan Nilai Simpangan Iluminasi Hasil Optimalisasi	96
11. Perhitungan Kenaikan Biaya Listrik Setelah Optimalisasi	100
12. Spesifikasi Alat Ukur <i>Environmental Meter</i>	102
13. Visualisasi 3D pada Bangunan.....	103
14. Spesifikasi Lampu Merata Eksisting.....	104
15. Spesifikasi Lampu Merata Baru	105
16. Spesifikasi Lampu Setempat Eksisting	106
17. Spesifikasi Lampu Setempat Baru	107
18. <i>Layout</i> Lampu Eksisting Ruang <i>Office</i>	108
19. <i>Layout</i> Lampu Baru Ruang <i>Office</i>	109
20. <i>Layout</i> Lampu Eksisting Ruang <i>Quality Control</i>	110

21. <i>Layout</i> Lampu Baru Ruang <i>Quality Control</i>	111
22. <i>Artificial Isolines</i> pada Simulasi Eksisting Ruang <i>Office</i>	112
23. <i>Artificial Isolines</i> pada Simulasi Optimalisasi Ruang <i>Office</i>	113
24. <i>Artificial Isolines</i> pada Simulasi Eksisting Ruang <i>Quality Control</i>	114
25. <i>Artificial Isolines</i> pada Simulasi Optimalisasi <i>Quality Control</i>	115
26. Usulan Perbaikan Lainnya	116
27. Dokumentasi Pengukuran	117

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang dan Masalah

Ruang kerja yang baik adalah ruangan yang memberikan kenyamanan visual dan ergonomis, sehingga dalam merancang ruang kerja perlu memperhatikan kondisi pencahayaan di dalam ruangan. Kondisi pencahayaan atau tingkat iluminasi juga merupakan salah satu faktor lingkungan yang mempengaruhi produktivitas pekerja, karena berkaitan juga dengan kesehatan pekerja itu sendiri. Para peneliti menyatakan bahwa terdapat hubungan yang signifikan antara tingkat iluminasi dengan kelelahan mata, dimana pekerja berisiko 7,71 kali lebih tinggi mengalami kelelahan mata dibandingkan dengan pekerja yang bekerja dengan tingkat iluminasi yang baik (Suryatman & Hermawan, 2021). Selanjutnya, penelitian yang dilakukan oleh Wandani et al. (2017) menulis bahwa ada hubungan antara tingkat iluminasi tempat kerja terhadap tingkat stres dimana jumlah pekerja yang mengalami stres lebih tinggi pada kondisi pencahayaan yang tidak normal. Adapun risiko silau dan mata pedih juga dapat disebabkan oleh cahaya yang terlalu tinggi (Ching, 1996). Ini berarti bahwa diperlukan perancangan pencahayaan yang tepat.

LDC Trading Indonesia merupakan perusahaan yang berfokus pada proses pengeringan dan *grading* biji kopi, dimana ruang *office* dan ruang *quality control* merupakan ruang kerja penunjang utama untuk aktivitas kantor dan pengujian mutu produk biji kopi. Kedua ruangan ini memerlukan sistem pencahayaan yang tepat sehingga pekerjaan menjadi optimal. Hasil perhitungan awal dan pengukuran langsung menunjukkan bahwa iluminasi rata-rata pada kedua ruangan ini masih belum memenuhi standar. Nilai iluminasi rata-rata pada meja kerja kantor di ruang *office* dan ruang *quality control* seluruhnya masih berada di bawah standar minimum PERMENAKER Nomor 5 Tahun 2018, yaitu sebesar 300 lx untuk pekerjaan kantor, dan 1.000 lx untuk pengujian mutu biji kopi. Hanya pada beberapa titik meja pengujian mutu di ruang *quality control* saja yang telah memenuhi standar tersebut. Dengan demikian, dapat dikatakan bahwa kedua ruangan ini masih belum layak untuk dilakukan jenis pekerjaan tersebut.

Pada penelitian ini akan menganalisis tingkat iluminasi pada ruang *office* dan ruang *quality control*. Data hasil pengukuran langsung di lapangan kemudian dibandingkan dengan standar pencahayaan minimum PERMENAKER Nomor 5 Tahun 2018. Selanjutnya dilakukan visualisasi 3D dan simulasi pencahayaan optimalisasi menggunakan DIALux evo 10.1 sehingga diperoleh tingkat iluminasi pada tiap meja kerja yang memenuhi standar sesuai kategori pekerjaan pada kedua ruangan tersebut. Simulasi dilakukan pada kondisi yang dibuat semirip mungkin dengan kondisi di lapangan dan optimalisasi pencahayaan dilakukan melalui percobaan pencahayaan cahaya buatan pada *software* tersebut yang kemudian hasilnya menjadi usulan perbaikan kepada perusahaan.

1.2 Tujuan

Adapun tujuan dilakukannya penelitian ini, diantaranya:

1. Mengetahui kesesuaian tingkat iluminasi setiap meja kerja pada ruang *office* dan ruang *quality control* LDC Trading Indonesia berdasarkan standar pencahayaan PERMENAKER Nomor 5 Tahun 2018 tentang Keselamatan dan Kesehatan Kerja Lingkungan Kerja.
2. Memberikan usulan perbaikan yang sesuai terhadap sistem pencahayaan ruang *office* dan ruang *quality control* LDC Trading Indonesia.

1.3 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran terkait tingkat iluminasi pada ruang *office* dan ruang *quality control* LDC Trading Indonesia dari sisi Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K3) dan kaitannya terhadap standar yang ada. Adapun manfaat lain dari penelitian ini antara lain:

1. Bagi pendidikan diharapkan dapat menjadi sumber referensi, ilmu pengetahuan, dan pembelajaran mengenai Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K3), khususnya pada tingkat iluminasi ruang kerja.
2. Bagi masyarakat diharapkan dapat memberikan informasi mengenai kesesuaian tingkat iluminasi ruang kerja terhadap standar yang ada.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi Pencahayaan

Cahaya adalah satu bagian dari berbagai jenis gelombang elektromagnetik yang terbang ke angkasa. Gelombang tersebut memiliki panjang dan frekuensi tertentu dengan nilai berbeda dalam spektrum elektromagnetiknya (Putranto, et al., 2021). Pencahayaan ruangan adalah salah satu komponen sangat penting dalam sebuah ruangan. Apabila tingkat pencahayaan di dalam ruangan kurang baik, seperti cahaya yang terlalu kuat, cahaya yang terlalu gelap, posisi pemasangan lampu yang kurang tepat, pemilihan spesifikasi lampu yang tidak sesuai, dan lain sebagainya akan membuat visualisasi menjadi tidak nyaman, dan juga berisiko mengakibatkan kelelahan mata dan stres. Maka diperlukan upaya preventif, seperti pemasangan lampu dan armatur yang tepat.

2.2 Istilah dalam Pencahayaan

Adapun beberapa istilah yang biasa digunakan dalam pencahayaan adalah sebagai berikut (Satwiko, 2008).

1. Fluks luminans, merupakan jumlah cahaya yang dipancarkan oleh sumber cahaya per satu detik. Fluks luminans memiliki satuan lumen (lm), dimana satu lumen merupakan fluks cahaya yang diemisikan per unit sudut.
2. Intensitas cahaya, merupakan jumlah fluks luminans per satuan sudut cahaya yang dipancarkan ke arah tertentu. Intensitas cahaya memiliki satuan candela (Cd).
3. Luminasi, merupakan rasio jumlah fluks luminans terhadap satuan bidang permukaan. Satuan luminasi menurut SI adalah bervariasi. Pada permukaan berdifusi, seperti kertas bercak atau material benda yang bercat putih maka satuannya adalah lumen per meter persegi (lm.m^{-2}). Sementara untuk permukaan-permukaan berpelitur, seperti reflektor kaca perak maka satuannya adalah candela per meter persegi (Cd.m^{-2}).

4. Iluminasi, merupakan tingkat pencahayaan pada suatu bidang. Satuan iluminasi menurut SI adalah lux (lx). Lux menunjukkan rasio jumlah cahaya (lumen, lm) yang sampai ke permukaan objek terhadap satu meter persegi (lm.m^{-2}). Satuan lainnya adalah *foot-candles* (fc).

2.3 Perhitungan Tingkat Iluminasi

2.3.1 Nilai Iluminasi Rata-Rata ($E_{rata-rata}$)

Nilai iluminasi suatu ruangan secara umum didefinisikan sebagai tingkat pencahayaan rata-rata pada bidang kerja horizontal yang terletak pada ketinggian imajiner 0,76 m di atas permukaan lantai ruang kerja (SNI 03-6575-2001). Nilai ini menunjukkan jumlah cahaya (lumen, lm) yang sampai ke permukaan objek oleh sumber cahaya pada tiap satuan m^2 . Nilai Iluminasi rata-rata dapat dihitung melalui Persamaan 1.

$$E_{rata-rata} = \frac{F_{total} \times k_p \times k_d}{A} \dots\dots\dots (1)$$

dimana, nilai A dapat diketahui melalui Persamaan 2.

$$A = p \times l \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan: $E_{rata-rata}$ = Iluminasi rata-rata (lx)
 F_{total} = Fluks luminans total semua lampu (lm)
 A = Luas bidang diterangi (m^2)
 p = Panjang ruangan (m)
 l = Lebar ruangan (m)
 k_p = Koefisien pemanfaatan
 k_d = Koefisien depresiasi

2.3.2 Koefisien Pemanfaatan (k_p)

Koefisien pemanfaatan dapat diartikan rasio antara nilai fluks luminans yang sampai pada permukaan bidang kerja terhadap keluaran cahaya sebenarnya yang dipancarkan oleh semua lampu. Sebagian dari cahaya yang dipancarkan oleh

lampu terserap oleh armatur, kemudian sebagian lainnya dipancarkan ke arah atas dan sebagian lagi dipancarkan ke arah bawah. Adapun besaran nilai k_p dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya:

1. Distribusi intensitas cahaya dari armatur.
2. Rasio antara fluks luminans yang didistribusikan oleh armatur dengan fluks luminans sebenarnya dari lampu.
3. Reflektansi (pantulan balik) dari langit-langit, dinding, dan lantai ruang kerja.
4. Posisi pemasangan armatur.
5. Dimensi ruangan.

2.3.3 Koefisien Depresiasi (k_d)

Koefisien depresiasi atau biasa disebut konstanta rugi-rugi cahaya atau koefisien pemeliharaan dapat diartikan rasio antara tingkat iluminasi setelah jangka waktu tertentu terhadap waktu instalasi awal. Adapun besaran nilai k_d dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya:

1. Kebersihan dari lampu dan armatur.
2. Kebersihan permukaan ruangan, meliputi permukaan dinding, lantai, dan langit-langit.
3. Penurunan nilai fluks luminans lampu selama durasi menyala.
4. Penurunan nilai fluks luminans lampu karena penurunan tegangan listrik.

Pada ruangan dengan kondisi pembersihan dinding, lantai, langit-langit, dan armatur yang rutin biasanya nilai k_d diasumsikan senilai 0,8 atau juga dapat ditentukan berdasarkan Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Nilai Koefisien Depresiasi (k_d)

Kondisi Ruang	Waktu Pembersihan	Nilai k_d
Bersih	Setelah satu tahun	0,80–0,85
Sedang	Setelah dua tahun	0,70
Kotor	Setelah tiga tahun	0,60

Sumber: Putranto, et al. (2021)

2.3.4 Kebutuhan Armatur Lampu ($N_{armatur}$)

Armatur diartikan sebagai rumah lampu yang berfungsi mengendalikan arah cahaya yang dipancarkan lampu yang dipasang di dalamnya serta terdapat peralatan pengendali listrik, seperti *ballast*. Adapun jumlah kebutuhan armatur diperlukan untuk mendapatkan tingkat iluminasi tertentu. Sebelum menghitung jumlah armatur, perlu diketahui besarnya fluks luminans total yang diperlukan untuk mendapatkan tingkat iluminasi yang direncanakan dengan menghitungnya melalui Persamaan 3.

$$F_{total} = \frac{E \times A}{k_p \times k_d} \dots\dots\dots (3)$$

Kemudian jumlah armatur dapat dihitung melalui Persamaan 4.

$$N_{armatur} = \frac{F_{total}}{F_l \times n} \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan: $N_{armatur}$ = Jumlah armatur (unit)
 F_l = Fluks luminans satu unit lampu (lm)
 n = Jumlah lampu dalam satu armatur (unit)

2.3.5 Kebutuhan Daya (P)

Kebutuhan daya berarti seberapa besar energi listrik yang diperlukan lampu untuk menghasilkan cahaya. Daya Listrik yang dibutuhkan untuk mendapatkan tingkat iluminasi rata-rata pada bidang kerja dapat dihitung melalui Persamaan 4 yang hasilnya kemudian digunakan untuk menghitung jumlah armatur. Setelah itu jumlah lampu yang dibutuhkan dapat dihitung melalui Persamaan 5.

$$N_{lampu\ hidup} = N_{armatur} \times n \dots\dots\dots (5)$$

Adapun daya listrik total yang diperlukan untuk semua armatur dapat dihitung melalui Persamaan 6 berikut.

$$P_{total} = P_l \times N_{lampu\ hidup} \dots\dots\dots (6)$$

Keterangan: $N_{lampu\ hidup}$ = Jumlah total lampu hidup (unit)
 P_{total} = Daya total lampu (W)
 P_l = Daya untuk satu lampu termasuk *ballast* (W)

Dengan membagi daya listrik total dengan luas bidang yang diterangi diperoleh nilai kepadatan daya ($W.m^{-2}$) yang diperlukan untuk pencahayaan buatan tersebut. Nilai kepadatan daya ini kemudian dibandingkan standar daya listrik maksimum SNI 03-6575-2001 yang dapat dilihat pada Tabel 2 di bawah ini, dimana nilai maksimum untuk ruang kantor sebesar $15 W.m^{-2}$.

Tabel 2. Standar Maksimum Daya Listrik

Fungsi Ruang	Daya Listrik Maksimum ($W.m^{-2}$)
Ruang kantor	15
Auditorium	25
Pasar swalayan	20
Kamar tamu (hotel)	17
Daerah umum (hotel)	20
Ruang pasien (rumah sakit)	15
Gudang dan ruang parkir (rumah sakit)	5
Garasi (rumah sakit)	2
Restoran (rumah sakit)	25
Kantin, lobi, dan tangga (rumah sakit)	10
Daerah umum dan ruang perkumpulan (rumah sakit)	20

Sumber: SNI 03-6575-2001

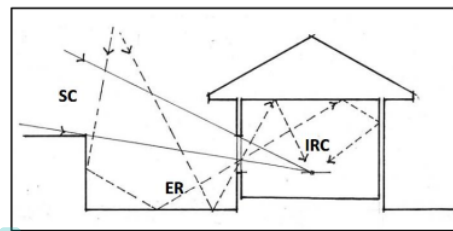
2.4 Sistem Pencahayaan Alami

Dora & Nilasari (2011) menulis bahwa pencahayaan alami (*daylighting*) adalah cahaya yang dipancarkan oleh benda penerang alami seperti matahari, bulan, dan bintang. Cahaya matahari dapat berasal dari beberapa sumber, diantaranya sinar matahari langsung, langit cerah, langit berawan, atau refleksi dari permukaan bawah dan bangunan sekitarnya. Cahaya *daylight* pada langit cerah terdiri dari dua komponen, yaitu *skylight* (sinar datang tidak langsung) dan *direct light* (sinar datang langsung). *Skylight* atau cahaya dari langit biru tersebar dengan tingkat terang yang rendah, sementara *direct light* sangat terang. Karena ada potensi silau, sinar matahari langsung harus dihindari di dalam bangunan. Cahaya yang

dipantulkan dari permukaan bawah dan bangunan sekitar sering menjadi sumber cahaya alami yang signifikan. Silau yang rendah dan level pencahayaan yang merata merupakan faktor kenyamanan visual dalam bekerja.

Setiap ruangan memiliki persyaratan pencahayaan *daylight* yang berbeda-beda bergantung pada fungsi ruangnya. Beberapa cara dan metode yang dapat dilakukan untuk memenuhi persyaratan tersebut, salah satunya memodifikasi tata letak dan luas jendela pada bangunan. Tentu saja, perhitungan yang tepat diperlukan mencapai hal ini. Jendela yang menghadap ke utara dan selatan adalah orientasi terbaik untuk penerangan alami karena cahayanya konstan. Sementara jendela terburuk adalah menghadap ke arah timur dan barat karena sinar matahari berada pada titik maksimum. Masalah yang paling serius adalah posisi matahari di timur dan barat karena berada paling rendah di langit, sehingga menimbulkan masalah silau dan bayangan (Setiyowati, 2009).

Besarnya kuantitas cahaya *daylight* yang masuk ke dalam ruangan melalui suatu bukaan bergantung oleh tiga komponen (Gambar 1), yaitu *Sky Component* (SC), *External Reflecting Component* (ERC), dan *Internal Reflecting Component* (IRC). Jumlah keseluruhan komponen *daylight* tersebut disebut dengan *Daylight Factor* (DF) yang dinyatakan dalam persen (Szokolay, 1980).



Gambar 1. Komponen-komponen Pencahayaan Alami
(Sumber: Szokolay, 1980)

2.5 Sistem Pencahayaan Buatan

Sistem pencahayaan buatan adalah sistem penerangan dengan cahaya yang bersumber dari lampu. Berdasarkan posisi penempatannya (Gambar 2), sistem pencahayaan buatan dapat dikelompokkan menjadi tiga antara lain:

1. Sistem pencahayaan merata.

Pada sistem ini, pencahayaan tersebar pada semua bidang di ruangan secara merata. Sistem pencahayaan merata digunakan pada ruangan yang tidak memerlukan ketelitian tinggi dalam melihat, seperti pada aula, balai pertemuan, atau jalur koridor.

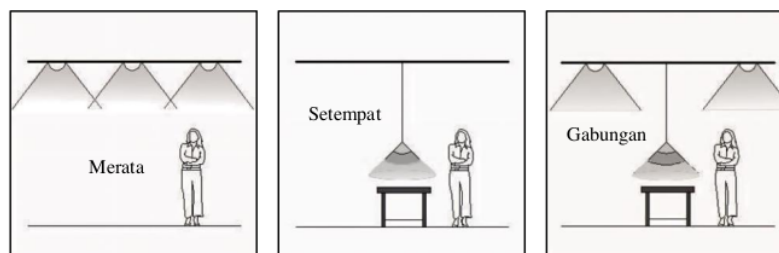
2. Sistem pencahayaan setempat.

Pada sistem ini, pencahayaan hanya difokuskan pada bidang kerja atau objek yang memerlukan pencahayaan lebih fokus. Tempat kerja yang memerlukan tingkat iluminasi yang lebih tinggi diberikan cahaya lebih dibandingkan dengan sekitarnya. Hal ini dapat dicapai dengan menempatkan armatur dan lampu pada langit-langit tepat di atas tempat kerja tersebut.

3. Sistem pencahayaan gabungan.

Sistem pencahayaan gabungan dilakukan dengan menempatkan lampu merata dan lampu setempat pada ruangan yang sama dengan menambah sistem pencahayaan setempat pada sistem pencahayaan merata dengan armatur yang dipasang di dekat meja kerja dan juga langit-langit. Sistem pencahayaan gabungan disarankan digunakan untuk:

- pekerjaan yang membutuhkan tingkat iluminasi tinggi.
- pekerjaan yang membutuhkan cahaya yang datang dari arah tertentu.
- pencahayaan merata yang terhalang oleh objek lain.
- orang tua atau pekerja kemampuan penglihatannya sudah berkurang.



Gambar 2. Jenis Sistem Pencahayaan Buatan
(Sumber: Santi, 2016)

2.6 Regulasi yang Mengatur Standar Pencahayaan

Nilai batas dari bahaya tingkat iluminasi tidak ditunjukkan melalui jumlah atau durasi paparan, melainkan ditentukan menurut kategori pekerjaan dan kebutuhan pencahayaan dalam melakukan pekerjaan tersebut. Standar pencahayaan diperlukan dalam perancangan sistem pencahayaan agar menghasilkan kualitas penerangan yang ideal dimana dapat memberikan keamanan dan kenyamanan visual. Adapun Menteri Ketenagakerjaan melalui Peraturan Menteri Ketenagakerjaan (PERMENAKER) Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2018 tentang Keselamatan dan Kesehatan Kerja Lingkungan Kerja telah mengatur nilai standar pencahayaan, lebih jelasnya disajikan pada Tabel 3 berikut ini. Berdasarkan peraturan menteri tersebut, standar pencahayaan terbagi berdasarkan kategori pekerjaan.

Tabel 3. Standar Pencahayaan

Kategori Pekerjaan (1)	Nilai Iluminasi (lx) (2)	Deskripsi Pekerjaan (3)
38 Pekerjaan membedakan barang kasar	50	a. Pengerjaan bahan–bahan kasar. b. Pengerjaan arang atau abu. c. Penyisihan barang–barang besar. d. Pengerjaan bahan tanah atau batu.
Pekerjaan membedakan barang kecil secara sepintas	100	a. Pengerjaan barang–barang besi dan baja setengah jadi (<i>semi finished</i>). b. Pemasangan yang kasar. c. Penggilingan padi. d. Pengupasan dan penyisihan kapas. e. Pengerjaan bahan–bahan pertanian lain yang setingkat dengan poin d.
27 Pekerjaan membedakan barang kecil yang agak teliti	200	a. Pemasangan alat–alat ukuran sedang. b. Pengerjaan mesin yang kasar. c. Pemeriksaan atau percobaan kasar terhadap barang–barang. d. Penjahitan tekstil atau kulit yang berwarna cerah. e. Pemasukan dan pengawetan bahan–bahan makanan dalam kaleng. f. Pembungkusan daging. g. Pelapisan perabot.
Pekerjaan teliti membedakan barang kecil dan halus	300	a. Pengerjaan mesin yang teliti. b. Pemeriksaan yang teliti. c. Percobaan yang teliti dan halus. d. Penyelesaian kulit dan penenunan bahan katun/wol berwarna cerah. e. Pekerjaan kantor yang berganti–ganti menulis dan membaca, pekerjaan arsip dan seleksi surat–surat.

Tabel 3 (Lanjutan)

(1)	(2)	(3)
Pekerjaan membedakan barang halus dengan kontras sedang untuk waktu yang lama	500–1.000	a. Pemasangan yang halus. b. Pengerjaan mesin yang halus. c. Pemeriksaan yang halus. d. Penyemiran yang halus dan pemotongan gelas kaca. e. Pengukiran kayu. f. Penjahitan bahan–bahan wol yang berwarna gelap. g. Akuntan, pemegang buku, pekerjaan steno, mengetik atau pekerjaan kantor yang lama
Pekerjaan membedakan barang sangat halus dengan kontras sangat kurang untuk waktu yang lama	1.000	a. Pemasangan yang ekstra halus. b. Pemeriksaan yang ekstra halus. c. Percobaan alat yang ekstra halus. d. Pengerjaan emas dan intan. e. Penilaian dan penyisihan hasil–hasil tembakau. f. Pemeriksaan salinan dalam pencetakan. g. Pemeriksaan dan penjahitan bahan pakaian berwarna gelap.

Sumber: Peraturan Menteri Ketenagakerjaan (PERMENAKER) RI Nomor 5 Tahun 2018

Berdasarkan tabel di atas maka standar pencahayaan minimum untuk pekerjaan kantor adalah 300 lx, sedangkan untuk pekerjaan pengujian mutu biji kopi adalah 1.000 lx.

2.7 Hubungan Tingkat Iluminasi terhadap Penyakit Akibat Kerja

Diperlukan pengkajian terkait Keselamatan dan kesehatan kerja (K3) dalam melindungi pekerja agar tidak membawa akibat buruk yang berupa penyakit atau gangguan kesehatan. Penyakit Akibat Kerja (PAK) adalah penyakit yang disebabkan oleh pekerjaan dan lingkungan kerja. Adapun salah satu faktor menyebabkan kecelakaan kerja dan penyakit akibat kerja di tempat kerja, yaitu intensitas pencahayaan atau iluminasi (Prayoga, 2014). Tingkat iluminasi yang buruk dapat mengakibatkan kelelahan mata, efektifitas kerja menurun, kelelahan mental, sakit di sekitar mata dan kepala, kerusakan alat penglihatan dan meningkatnya kecelakaan (Brewer, 2006; Sakai, 2009). Tingkat iluminasi yang ideal memungkinkan pekerja mampu melihat objek yang dikerjakan dengan jelas, cepat, dan efisien (Hoffman, 2008; Richa, 2009). Tentu saja, kelelahan pada mata

menunjukkan tanda-tanda dan karakteristik seperti mata berair, kelopak mata berwarna merah, penglihatan rangkap, sakit kepala, ketajaman mata merosot, dan kekuatan konvergensi serta akomodasi menurun (Rahmayanti & Artha, 2015). Kelelahan mata merupakan dampak dari ketegangan pada mata dan disebabkan oleh penggunaan indera penglihatan dalam bekerja yang memerlukan kemampuan untuk melihat dalam jangka waktu yang lama dan sangat mungkin dibarengi oleh kondisi visual yang tidak nyaman, sehingga mata menjadi mudah terserang penyakit mata dan menyebabkan gangguan penglihatan atau kelainan refraksi mata (Francis, 2005; Shiozawa, 2006; Widowati, 2011). Kelainan refraksi merupakan kelainan pembiasan cahaya pada mata sehingga cahaya tidak difokuskan tepat pada retina, tetapi bisa di depan atau di belakang retina atau mungkin saja tidak dapat fokus pada satu titik (Sidarta, 2008; Hael, 2006). Kelainan refraksi mata juga bisa disebabkan oleh adanya faktor radiasi cahaya yang berlebihan atau kurang diterima oleh mata, karena situasi tersebut menyebabkan otot yang membuat akomodasi pada mata bekerja bersamaan, hal tersebut merupakan salah satu penyebab mata menjadi cepat lelah (Rosenfield, 2010).

Selain itu, tingkat iluminasi yang kurang baik juga berpengaruh pada stres kerja. Stres dapat memengaruhi psikologis seseorang sehingga emosi dan suasana hati menjadi tidak stabil. Stres kerja yang dialami karyawan dapat merugikan perusahaan ataupun organisasi tempatnya bekerja. Wandani, et al. (2017) dalam penelitiannya menyatakan adanya hubungan antara kondisi pencahayaan tempat kerja dengan tingkat stres kerja pada karyawan PT Tofico dimana jumlah pekerja yang mengalami stres lebih banyak pada kondisi pencahayaan tidak normal. Stres kerja merupakan penyakit akibat kerja dan gangguan psikis yang juga bagian dari kesehatan kerja dan psikologis kerja, sehingga ketika mengalami stres seorang pekerja dapat menjadi sakit baik secara fisik dan mental, sehingga tidak dapat bekerja secara optimal. Penelitian serupa telah dilakukan juga oleh Noordiansah (2013) yang membahas bahwa kondisi pencahayaan saat bekerja yang buruk memengaruhi stres kerja terhadap tenaga medis yang membutuhkan ketelitian yang tinggi, sehingga kondisi pencahayaan yang buruk memengaruhi kualitas kerja. Maka dari itu, sangat penting dan menjadi tanggung jawab perusahaan dalam menyiapkan tempat bekerja yang nyaman bagi pekerjanya.

2.8 Diagram Tulang Ikan

Diagram tulang ikan (*fishbone diagram*) sering juga disebut *cause and effect diagram* atau diagram sebab akibat. Diagram ini dipopulerkan oleh Dr. Kaoru Ishikawa, seorang alumnus teknik kimia dan ahli pengendalian kualitas dari Jepang. Diagram *fishbone* (Gambar 3) adalah metode yang dapat mengidentifikasi berbagai potensi penyebab dari suatu masalah, dan menganalisis faktor penyebab tersebut melalui proses *brainstorming*. Masalah akan dipecahkan menjadi sejumlah faktor penyebab yang berkaitan, mencakup manusia, material, mesin, dan sebagainya. Setiap faktor penyebab memiliki faktor spesifik yang perlu diuraikan (Purba, 2022).

Adapun kegunaan diagram *fishbone* adalah memudahkan dalam mengidentifikasi dan mengelola penyebab-penyebab yang mungkin timbul dari suatu masalah secara spesifik yang selanjutnya memisahkan akar penyebab masalahnya. Kebanyakan kasus mengharuskan menguji apakah penyebab untuk hipotesis adalah nyata, dan apakah memperbesar atau mengurangnya akan memberikan hasil yang diinginkan atau tidak.

Purba (2022) dalam tulisannya menguraikan beberapa tahapan-tahapan dalam menggunakan diagram *fishbone* untuk menganalisis dan mengevaluasi masala, diantaranya:

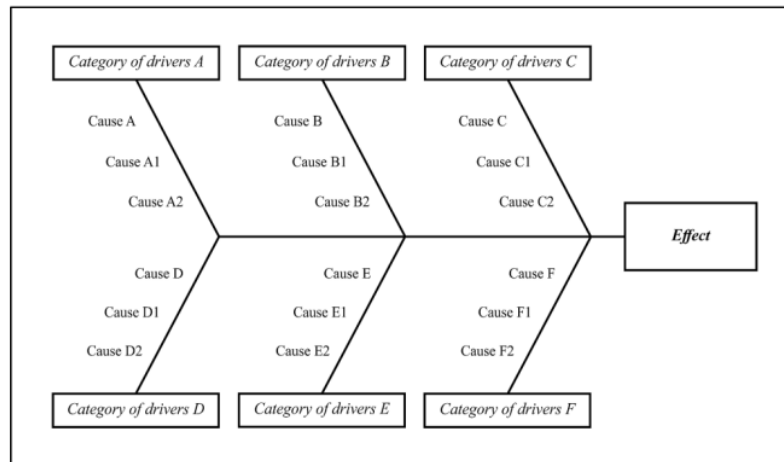
1. Identifikasi pokok masalah.

Mengidentifikasi dan menyepakati masalah yang sebenarnya sedang dialami. Masalah utama yang terjadi kemudian digambarkan dengan bentuk kotak sebagai kepala dari diagram *fishbone*. Masalah yang diidentifikasi yang akan menjadi pusat perhatian dalam proses pembuatan diagram *fishbone*.

2. Identifikasi faktor-faktor penyebab utama masalah.

Dari masalah yang ada, maka ditentukan faktor-faktor penyebab utama yang menjadi bagian dari permasalahan yang ada. Faktor-faktor tersebut akan menjadi benang merah atau tulang utama dari diagram *fishbone*. Faktor-faktor tersebut dapat bersumber dari manusia, mesin atau alat yang digunakan, metode yang digunakan, atau faktor lingkungan seperti kondisi ruangan dalam melakukan pekerjaan, dan sebagainya.

3. Identifikasi faktor penyebab masalah secara spesifik.
 Setelah didapatkan faktor utama yang menjadi tulang masalah, maka perlu disusun penyebab lebih spesifik. Penyebab spesifik setiap faktor selanjutnya diilustrasikan sebagai tulang kecil. Penyebab spesifik dapat dicari tahu melalui analisis, pengamatan, atau observasi secara langsung.
4. Analisis lanjutan setiap faktor penyebab masalah.
 Setelah membuat diagram *fishbone*, maka dapat dilihat akar penyebab masalah. Setelah akar penyebab masalah tersusun, maka diperlukan analisis lanjutan dari penyebab utamanya yang selanjutnya dapat dicari tahu solusi untuk menyelesaikan masalah tersebut.



Gambar 3. Kerangka *Fishbone Diagram*
 Sumber: Coccia (2020)

2.9 Software DIALux

DIALux adalah salah satu *software* yang dapat digunakan untuk memperkirakan kualitas dan tata cahaya sebelum diterapkan pada keadaan sebenarnya dengan cara memvisualisasikan kondisi ruang dengan lampu yang diproduksi oleh produsen lampu tertentu. DIALux merupakan *software* perencanaan pencahayaan ruang yang bersifat *free license*. DIALux dapat melakukan perhitungan iluminasi pada suatu bidang, baik di dalam maupun luar

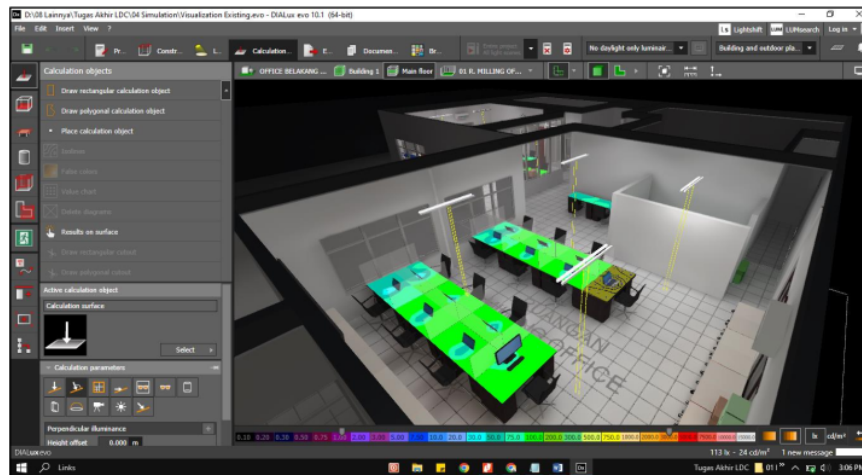
ruangan. Dikembangkan oleh perusahaan Jerman, DIALux⁸⁷ adalah salah satu program yang paling banyak digunakan di dunia dalam desain pencahayaan. Ada hal yang berbeda dari *software* ini, yaitu tampilan yang sangat minimalis sehingga mudah dalam penggunaannya. *Software* ini dapat mengalkulasikan hasil iluminasi dari simulasi, dapat menggunakan berbagai jenis lampu, dan dapat menyimulasikan berbagai bentuk ruangan, serta mampu memvisualisasikan secara 3D yang memungkinkan pengguna berjalan sepanjang ruangan. Adapun persyaratan perangkat untuk instalasi DIALux¹³ dapat dilihat pada Tabel 4 di bawah ini.

Tabel 4. Persyaratan Perangkat DIALux

Persyaratan Minimum	Keterangan
Sistem Operasi	Windows 10/11 (64 bit)
Tipe CPU	CPU, SSE2 support
Memori	RAM min. 2 GB
Resolusi Layar	Min. 1.920 × 1.080 px
Display Card	OpenGL 3.2 graphics card (1 GB RAM)

Sumber: DIALux (2022)

Pada penelitian ini, simulasi pencahayaan pada ruang *office* dan ruang *quality control* menggunakan DIALux evo 10.1. Adapun tampilan kerja dari DIALux evo. 10.1 dapat dilihat pada Gambar 4 di bawah ini.



Gambar 4. Tampilan Kerja *Software* DIALux evo 10.1
(Sumber: Dokumentasi Penelitian, 2022)

2.10 Penelitian Terdahulu

Merujuk dari penelitian terdahulu, beberapa penelitian memiliki relevansi terhadap penelitian ini, diantaranya:

Penelitian yang dilakukan oleh Pahlevi & Muliadi (2022) mengenai analisis dan desain tingkat iluminasi pada ruang perpustakaan Universitas Iskandar Muda, menunjukkan bahwa tingkat iluminasi di ruangan tersebut belum memenuhi SNI 03-6575-2001 sebagai perpustakaan. Setelah disimulasikan menggunakan *software* DIALux evo 9.1 diperoleh tingkat iluminasi rata-rata yang memenuhi standar yang sebelumnya 252 lx meningkat menjadi 592 lx.

Penelitian lain yang dilakukan oleh Rahmayanti & Artha (2015) mengenai hubungan tingkat iluminasi terhadap keluhan kelelahan mata pekerja pada area perkantoran *Health, Safety, and Environment* (HSE) PT Pertamina RU VI Balongan menyimpulkan bahwa terdapat hubungan antara kualitas pencahayaan atau tingkat iluminasi pada area perkantoran terhadap keluhan kelelahan mata, serta nyeri pada leher dan bahu pekerja.

Penelitian lain juga dilakukan oleh Nurrohman, et al. (2021) mengenai desain pencahayaan efisien pada ruang studio arsitektur multiguna menggunakan DIALux evo 9 menyimpulkan bahwa penempatan atau pengelompokan lampu harus mempertimbangkan kondisi pencahayaan alami untuk mencapai sistem penerangan hemat energi.

Penelitian lain juga dilakukan oleh Kamaruddin, et al. (2016) mengenai analisis konsumsi daya pada sistem pencahayaan di ruang kuliah Universitas Teknologi Malaysia menggunakan DIALux evo 3 menunjukkan bahwa penggunaan lampu jenis LED dapat menghemat energi 30–50% dibandingkan jenis CFL, selain itu reflektansi warna material permukaan pada dinding, lantai, dan langit-langit juga berperan besar dalam penghematan energi.

Dari beberapa penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa sangat penting merancang ruangan dengan iluminasi yang baik karena akan memengaruhi kenyamanan visual, penghematan energi, dan kesesuaian standar yang ada. Maka dalam penelitian ini akan melakukan analisis tingkat iluminasi pada ruang *office* dan ruang *quality control* dengan pengambilan data dan perhitungan yang berbeda kemudian disimulasikan untuk diperoleh usulan perbaikan.

III. METODE PELAKSANAAN

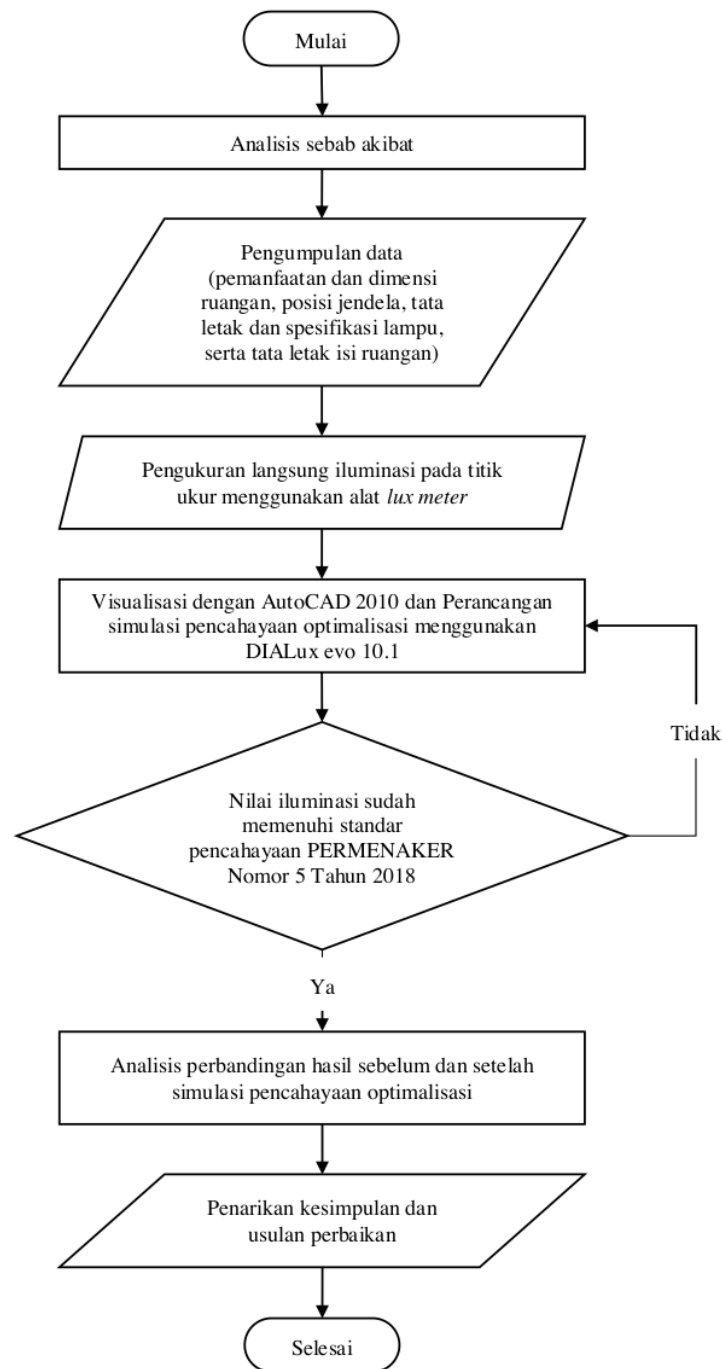
3.1 Tempat dan Waktu

Lokasi penelitian dilakukan pada ruang *office* dan ruang *quality control* LDC Trading Indonesia bertempat di Jl. Soekarno–Hatta KM 6 (Gd. Irsan), Bandar Lampung. Waktu penelitian dilakukan selama dua bulan pada Bulan Juli sampai dengan Agustus 2022.

3.2 Perancangan Penelitian

Penelitian diawali dengan investigasi awal untuk mengetahui faktor–faktor yang berpengaruh langsung terhadap kelelahan dan stres pada pekerja, khususnya terkait faktor lingkungan. Selanjutnya dilakukan pengamatan secara langsung dengan pengumpulan data ruangan sehingga diperoleh data kondisi nyata meliputi pemanfaatan dan dimensi ruangan, posisi jendela, tata letak dan spesifikasi lampu, serta tata letak isi ruangan termasuk spesifikasi warna dan material bahan. Kemudian dilakukan pengukuran langsung terhadap nilai iluminasi meja kerja menggunakan alat *lux meter* dengan mengacu pada prosedur SNI 7062: 2019, selanjutnya hasil pengukuran dibandingkan dengan standar pencahayaan untuk mengetahui kesesuaiannya.

Data–data yang diperoleh lalu diolah menggunakan AutoCAD 2010 dan divisualisasikan secara 3D menggunakan DIALux evo 10.1 dengan kondisi mirip dengan aslinya. Lalu dilakukan simulasi pencahayaan alami untuk mengetahui pengaruh cahaya alami terhadap iluminasi ruangan. Setelah itu dilakukan simulasi pencahayaan eksisting dan perancangan simulasi pencahayaan optimalisasi untuk mendapatkan nilai iluminasi yang memenuhi standar pencahayaan. Kemudian dilakukan analisis perbandingan untuk mengetahui peningkatan nilai iluminasi pada waktu sebelum dan setelah kondisi optimalisasi. Hasil perancangan instalasi lampu baru menjadi usulan perbaikan terhadap perusahaan. Adapun diagram alur penelitian dapat dilihat pada Gambar 5 berikut ini.



Gambar 5. Diagram Alur Penelitian

103

3.3 Pengambilan Data

3.3.1 Alat Ukur

23

Pada penelitian ini alat yang digunakan untuk mengukur tingkat iluminasi atau intensitas pencahayaan adalah *lux meter* bernama *Environmental Meter M45170*. Selain dapat mengukur iluminasi (*light intensity*), alat ini juga dapat mengukur beberapa parameter lingkungan lainnya, seperti kecepatan angin (*air velocity*), kelembaban udara relatif (*relative humidity*), dan temperatur udara (*air temperature*). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Lampiran 11. Pada pengukuran iluminasi, alat ini dilengkapi oleh sebuah sensor dan layar panel. Sensor cahaya yang digunakan pada alat ini adalah bagian bulat yang berwarna putih atau biasa di sebut dengan foto dioda. Foto dioda adalah bagian yang mampu mendeteksi perubahan cahaya dari sumber cahaya, pantulan cahaya, ataupun bias cahaya yang mengenai suatu permukaan benda yang kemudian diubah menjadi arus listrik yang selanjutnya ditampilkan pada layar panel sebagai pembacaan hasil pengukuran.

Alat ukur ini biasa dipakai oleh pekerja dari departemen *Safety, Health, and Environment* (SHE) LDC Trading Indonesia dalam mengukur beberapa parameter lingkungan di sekitar pabrik secara berkala. Adapun alat yang dipakai seperti pada Gambar 6 berikut ini.



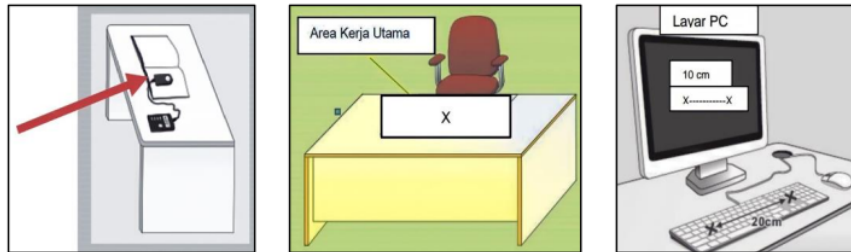
Gambar 6. Alat Ukur *Environmental Meter M45170*
Sumber: Dokumentasi penelitian (2022)

3.3.2 Pengukuran Iluminasi

Pengukuran langsung iluminasi dilakukan terhadap ruang *office* dan ruang *quality control* pada tanggal 20 Juli 2022. Pengambilan data dilakukan sebanyak tiga kali pada tiga periode waktu berbeda, yaitu Pengukuran I (pukul 08.00–11.00 WIB), Pengukuran II (pukul 11.00–14.00 WIB), dan Pengukuran III (pukul 14.00–17.00 WIB) pada kondisi cuaca cerah. Cuaca cerah adalah keadaan dimana langit tanpa atau sedikit awan sehingga matahari bersinar secara normal. Pengukuran ini dilakukan untuk mengetahui nilai iluminasi pada meja kerja kantor dan meja pengujian mutu.

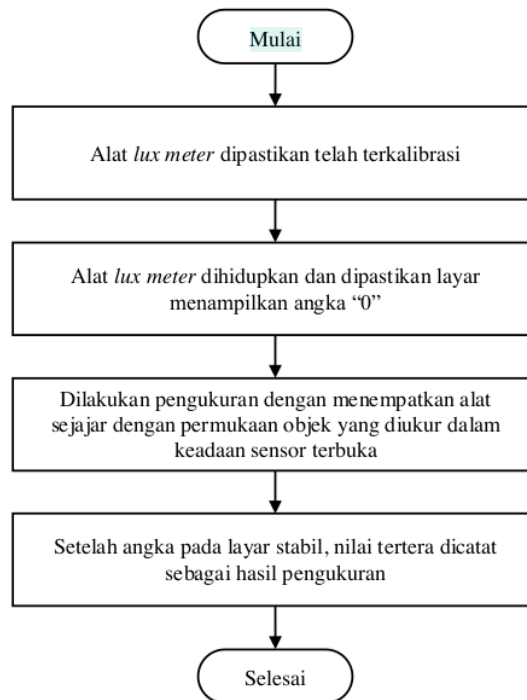
Mengacu pada SNI 7062: 2019 tentang Pengukuran Intensitas Pencahayaan di Tempat Kerja, prosedur pengukuran tingkat iluminasi setempat dengan alat *lux meter* adalah sebagai berikut:

1. Kondisi tempat kerja dipastikan dalam keadaan sesuai dengan pekerjaan yang biasa dilakukan.
2. Sensor diletakkan sejajar dengan permukaan yang akan diukur.
3. Pengukur diposisikan tidak menghalangi cahaya yang jatuh ke sensor alat.
4. Pengukur tidak menggunakan pakaian yang dapat memantulkan cahaya yang dapat memengaruhi hasil pengukuran.
5. Alat *lux meter* dipastikan sudah terkalibrasi.
6. Alat *lux meter* dihidupkan dan dipastikan rentang skala pengukuran sesuai dengan iluminasi yang diukur.
7. Penutup sensor dibuka dengan hati-hati.
8. Pengecekan dilakukan untuk memastikan pembacaan yang muncul di layar menunjukkan angka “0” saat sensor ditutup.
9. Alat *lux meter* dibawa ke tempat titik pengukuran yang telah ditentukan.
10. Alat *lux meter* ditempatkan sejajar dengan permukaan objek (Gambar 7).
11. Setelah angka pada layar stabil, nilai tertera dicatat sebagai hasil pengukuran.
12. Pengukuran dilakukan pada titik yang sama sebanyak tiga kali pengulangan.
13. Alat *lux meter* dimatikan setelah selesai dilakukan pengukuran tingkat iluminasi.



Gambar 7. Penempatan Sensor Pengukuran
(Sumber: SNI 7062: 2019)

Adapun diagram alur pengukuran tingkat iluminasi menggunakan alat *lux meter* mengacu pada prosedur SNI 7062: 2019 dapat dilihat pada Gambar 8 di bawah ini.

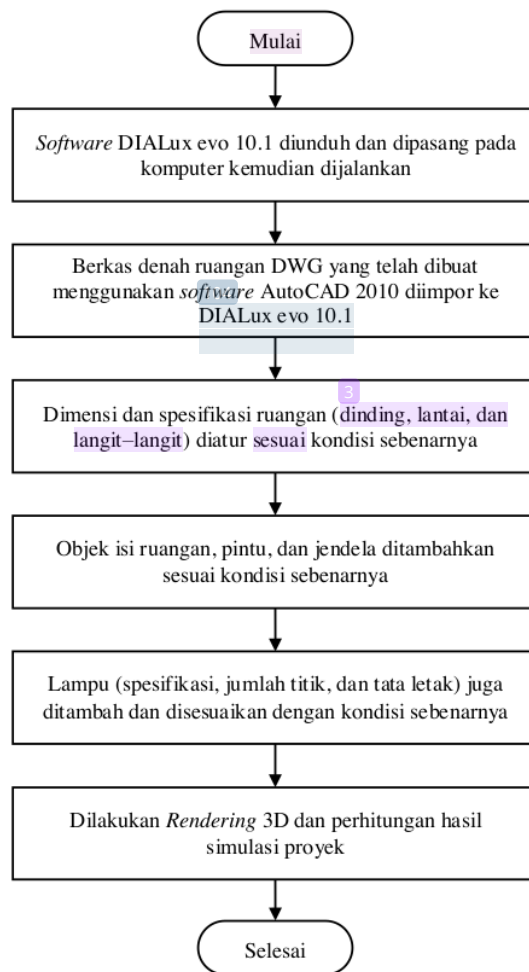


Gambar 8. Diagram Alur Pengukuran Tingkat Iluminasi
(Sumber: SNI 7062: 2019)

3.4 Visualisasi 3D Menggunakan DIALux evo 10.1

Untuk memperkirakan kualitas dari perancangan pencahayaan maka diperlukan visualisasi secara 3D. Pada penelitian ini menggunakan DIALux evo 10.1 untuk memvisualisasikan, menyimulasikan, dan mengalkulasi hasil iluminasi perancangan pencahayaan pada ruang *office* dan ruang *quality control* LDC Trading Indonesia.

Software DIALux evo 10.1 yang telah diunduh dan dipasang pada komputer kemudian dijalankan. Proyek baru dibuat dengan cara mengimpor berkas DWG berupa denah ruangan yang sebelumnya telah dibuat menggunakan *software* AutoCAD 2010. Denah yang dibuat menyesuaikan dengan ukuran sebenarnya. Selanjutnya dimensi dan spesifikasi ruangan diatur sedemikian rupa sehingga mirip dengan kondisi sebenarnya dan ditambahkan juga objek isi ruangan atau furnitur, seperti pintu dan jendela di dalamnya. Posisi penempatan bukaan pintu, jendela, dan tata letak furnitur eksisting sangat diperhatikan pada penelitian ini. Selain itu, penambahan spesifikasi, jumlah titik, dan tata letak lampu eksisting juga dilakukan. Selanjutnya dilakukan visualisasi dengan *me-rendering* 3D dan perhitungan hasil simulasi. Simulasi yang dilakukan adalah simulasi pencahayaan alami, simulasi pencahayaan eksisting, dan simulasi pencahayaan optimalisasi. Adapun diagram alur dalam memvisualisasikan objek penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 9 berikut ini.



Gambar 9. Diagram Alur Visualisasi 3D Menggunakan DIALux evo 10.1

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Permasalahan

4.1.1 Investigasi Awal

Ruang *office* LDC Trading Indonesia merupakan tempat dimana pekerja melakukan pekerjaan kantor menggunakan komputer selama 8 jam secara terus menerus pada lima hari kerja dalam seminggu dengan pola kerja *non-shift*, namun dalam beberapa kondisi dapat sampai larut malam. Sedangkan pekerjaan pada ruang *quality control* terbagi menjadi dua jenis, yaitu pekerjaan kantor dan pengujian mutu biji kopi dengan pola kerja *shift*. Pada pekerjaan pengujian mutu biji kopi, pekerja diharuskan bekerja pada iluminasi yang sangat tinggi dalam menyortir biji kopi dan dilakukan selama enam hari kerja. Berdasarkan pengamatan langsung, tingkat iluminasi pada kedua ruangan ini tidak cukup baik dimana penyebaran cahaya tidaklah merata karena spesifikasi dan posisi pemasangan lampu eksisting yang kurang tepat. Pekerjaan yang dilakukan terus-menerus pada kondisi ini menyebabkan pekerja berpotensi mengalami Penyakit Akibat Kerja (PAK), seperti kelelahan mata dan stres. Untuk mengetahui akar masalah (*root cause*), maka dilakukan pengamatan serta pengumpulan informasi.

4.1.2 Identifikasi Masalah

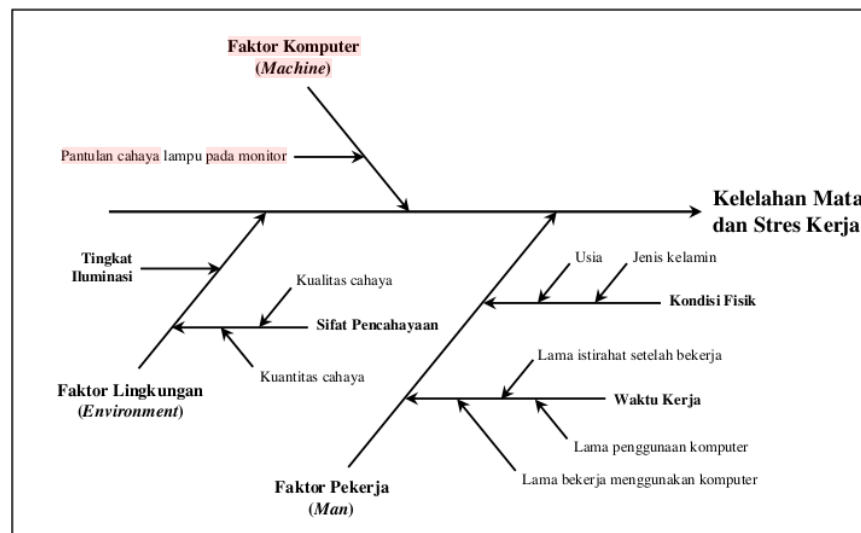
Berdasarkan *investigasi awal* didapatkan beberapa pokok permasalahan yang berkaitan dengan kenyamanan visual dalam bekerja, diantaranya:

1. Hasil pengukuran langsung pada ruang *office* menunjukkan nilai iluminasi rata-rata berkisar 72–180 lx pada meja kantor. Sedangkan pada ruang *quality control* berkisar 74–152 lx untuk meja kantor dan 301–1.410 lx untuk meja pengujian mutu. Menurut PERMENAKER Nomor 5 Tahun 2018, standar pencahayaan minimum untuk pekerjaan kantor adalah 300 lx dan 1.000 lx untuk pekerjaan pengujian mutu biji kopi.

2. Pencahayaan ruangan yang kurang juga disebabkan oleh lampu yang tidak dalam kondisi baik sepenuhnya. Sebanyak 12% atau 2 dari 17 unit lampu di ruang *quality control* dalam keadaan malafungsi. Selain itu, titik pemasangan lampu eksisting tidak tersebar merata.
3. Perubahan sistem pekerjaan kantor dari konvensional ke komputerisasi secara masif tidak disertai dengan perubahan rancangan pencahayaan pada ruangan, sehingga tidak memungkinkan untuk mengubah desain ruangan.
4. Cahaya alami yang masuk melalui jendela ruang *office* sangat terang dan tidak memungkinkan tirai jendela ditutup atau dibuka sepenuhnya karena dapat menimbulkan silau. Sedangkan dalam perancangan, sebisa mungkin ruangan mendapatkan pencahayaan alami maksimum yang baik.

4.1.3 Menentukan Faktor Penyebab Masalah

Secara garis besar adapun faktor penyebab masalah pada potensi kelelahan mata dan stres pada pekerja dapat digambarkan menggunakan metode Diagram Tulang Ikan (*fishbone diagram*) yang dapat dilihat pada Gambar 10 di bawah ini.



Gambar 10. *Fishbone Diagram* pada Faktor Penyebab Masalah
(Sumber: Hasil penelitian, 2022)

Pada *fishbone diagram* di atas dapat dilihat ada tiga faktor penyebab utama potensi terjadinya keluhan mata dan stres pada pekerja yaitu sebagai berikut.

1. Pekerja (*Man*)

Faktor individu pekerja itu sendiri disebabkan oleh beberapa hal, yaitu kondisi fisik dan waktu kerja. Kondisi fisik dapat dipengaruhi oleh usia dan jenis kelamin. Rata-rata pekerja mengoperasikan komputer lebih dari 5 jam per hari dengan waktu kerja paling tidak dua tahun, sedangkan waktu istirahat biasanya 5–10 menit per jam. Sedangkan pada pengujian mutu, rata-rata waktu untuk menyelesaikan analisis satu sampel biji kopi adalah 10–15 menit dengan waktu kerja paling tidak satu tahun. Rata-rata pekerja berjenis kelamin laki-laki.

2. Komputer (*Machine*)

Pada pekerjaan kantor, komputer menjadi salah satu penyebab potensi keluhan, karena adanya pantulan dari cahaya lampu ke layar monitor ketika tingkat cahaya yang diatur kurang tepat. Di samping itu, peranan armatur lampu selain mengarahkan cahaya juga dapat mengurangi silau. Maka diperlukan penggantian jenis armatur untuk mengurangi silau.

3. Lingkungan (*Environment*)

Faktor lingkungan menjadi pengaruh utama menyebabkan potensi keluhan dan faktor tersebut menjadi fokus utama dalam penelitian ini, yaitu sifat pencahayaan (kualitas dan kuantitas cahaya) dan tingkat iluminasi. Kualitas cahaya yang dimaksud adalah seberapa besar nilai fluks luminans cahaya terhadap konsumsi daya dan warna temperatur lampu. Lampu yang baik menghasilkan nilai fluks luminans yang tinggi dengan daya rendah serta menghasilkan warna yang baik. Sementara kuantitas lampu yang dimaksud adalah seberapa banyak titik pemasangan lampu yang ideal terhadap luas bidang yang diterangi oleh lampu tersebut. Iluminasi yang dimaksud adalah seberapa besar cahaya yang sampai ke permukaan bidang yang diterangi. Sehingga kualitas dan kuantitas cahaya dari lampu yang tepat akan menghasilkan tingkat iluminasi ruangan yang baik dan sesuai standar.

4.1.4 Analisis Sebab Akibat

Adapun analisis sebab akibat telah dijabarkan dengan korelasinya dapat dilihat pada Tabel 5 di bawah ini.

Tabel 5. Analisis Sebab Akibat

Faktor	Penyebab	Akibat	Korelasi
Pekerja (<i>Man</i>)	Kondisi fisik (usia yang bervariasi)	Menimbulkan kelelahan mata dan stres pekerja	Tidak berhubungan langsung karena pekerja rata-rata berusia ≤ 40 tahun
	Waktu kerja (durasi penggunaan komputer yang tinggi dalam bekerja, dan pekerjaan pengujian mutu dilakukan pada pencahayaan yang sangat tinggi)	Menimbulkan kelelahan mata saat bekerja	Tidak berhubungan langsung karena durasi paparan intensitas cahaya yang masuk ke mata dapat diselingi dengan istirahat
Komputer (<i>Machine</i>)	Pantulan cahaya (pantulan cahaya lampu eksisting pada layar monitor)	Dengan kondisi tata letak lampu saat ini terjadi ketidakseragaman penyebaran cahaya pada masing-masing meja kerja sehingga menimbulkan pantulan cahaya/silau pada layar monitor	Berhubungan langsung karena menyebabkan ketidaknyamanan visual dalam bekerja
Lingkungan (<i>Environment</i>)	Sifat pencahayaan (kualitas dan kuantitas lampu eksisting tidak mengakomodir kebutuhan pencahayaan ruang yang ideal)	Pencahayaan ruang menjadi tidak optimal karena spesifikasi, jumlah titik pemasangan, dan tata letak lampu terhadap kebutuhan tidak sesuai	Berhubungan langsung karena pencahayaan menjadi kurang
	Tingkat iluminasi (nilai fluks luminans yang jatuh ke meja kerja tidak sampai standar pencahayaan 300 dan 1.000 lx)	Cahaya yang dipancarkan lampu eksisting tidak sampai sepenuhnya ke meja kerja karena adanya rugi-rugi cahaya atau reflektansi oleh objek di sekitarnya	Berhubungan langsung karena nilai iluminasi menjadi di bawah standar pencahayaan

Sumber: Data penelitian (2022)

4.1.5 Analisis Faktor Penyebab Langsung

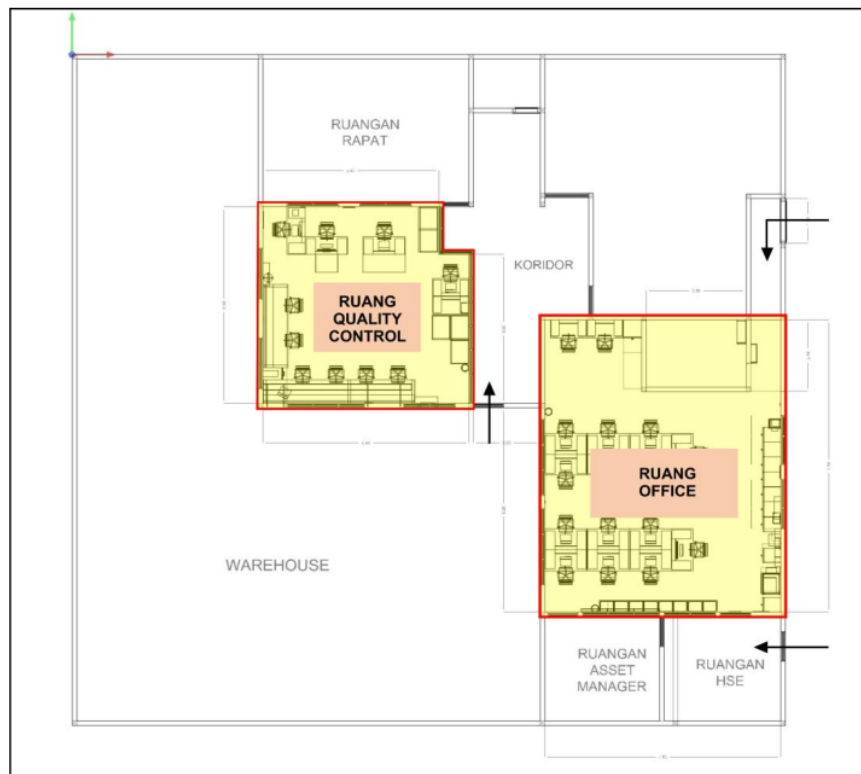
Berdasarkan Tabel 5 di atas, adapun faktor–faktor yang memiliki hubungan langsung pada kelelahan mata dan stres pada pekerja dan akan dibahas pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. **Sifat pencahayaan**, berhubungan langsung karena memiliki efek yang langsung terhadap kurangnya pencahayaan. Pencahayaan pada ruangan menjadi tidak optimal karena spesifikasi lampu, jumlah titik pemasangan, dan tata letak lampu terhadap kebutuhan ruang kerja menjadi tidak sesuai kebutuhan dan standar. Maka, diperlukan perhitungan tepat untuk mendapatkan jumlah lampu dan letak pemasangan yang efektif dalam perancangan pencahayaan yang baru.
2. **Tingkat iluminasi**, berhubungan langsung karena nilai iluminasi menjadi di bawah standar pencahayaan. Cahaya yang dipancarkan lampu eksisting tidak sampai sepenuhnya ke meja kerja karena adanya rugi–rugi cahaya atau reflektansi oleh objek di sekitarnya, dan juga akumulasi dari sumber pencahayaan alami tidak dapat mengakomodir sepenuhnya kebutuhan pencahayaan ruangan.
3. **Pantulan cahaya lampu eksisting pada layar monitor**, berhubungan langsung karena mengakibatkan ketidaknyamanan dalam bekerja. Posisi pemasangan lampu eksisting menyebabkan ketidakseragaman penyebaran cahaya pada masing–masing meja kerja sehingga menimbulkan pantulan cahaya atau silau pada layar monitor. Selain itu, posisi meja kerja terhadap sumber pencahayaan alami yang notabene memiliki iluminasi sangat tinggi juga memengaruhi silau yang terjadi pada beberapa titik.

Dari penjabaran di atas, untuk mendapatkan solusi dan usulan perbaikan atas permasalahan yang berhubungan langsung diperlukan analisis lebih dalam terkait perhitungan secara teoritis, pengukuran secara langsung, serta visualisasi 3D dan simulasi perbaikan menggunakan DIALux evo 10.1 terhadap iluminasi pada tiap meja kerja.

4.2 Hasil Perhitungan Awal

Perhitungan secara teoritis perlu dilakukan di awal untuk mengetahui secara kasar apakah lampu eksisting dapat mengakomodir pencahayaan pada masing-masing ruangan secara tepat dan menentukan apakah perlu dilakukan penggantian jenis lampu atau tidak. Adapun letak ruangan yang menjadi objek penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 11 berikut ini.



Gambar 11. Lokasi Ruangan Objek Penelitian
(Sumber: Data penelitian, 2022)

4.2.1 Ruang Office

Dari hasil pengamatan langsung didapatkan bahwa kondisi ruang *office* (Gambar 12) memiliki bidang yang diterangi berbentuk persegi panjang dengan ukuran yang dapat dilihat pada Tabel 6 di bawah ini.



Gambar 12. Kondisi Ruang *Office*
(Sumber: Dokumentasi penelitian, 2022)

Tabel 6. Bidang yang diterangi pada Ruang *Office*

Bidang yang diterangi	p (m)	l (m)	A (m ²)
Seluruh bagian ruangan	9,80	7,80	76,44

Sumber: Hasil pengukuran, 2022

Berdasarkan data spesifikasi lampu eksisting yang dapat dilihat pada Tabel 11, berikut ini merupakan hasil perhitungan iluminasi ruangan rata-rata melalui Persamaan 1, Persamaan 2, dan Persamaan 4 yang dapat dilihat pada Tabel 7 di bawah ini.

Tabel 7. Iluminasi Rata-Rata Ruang *Office*

Jenis pencahayaan	P_l (W)	F_l (lm)	$N_{armatur}$	n	η	F_{total} (lm)	k_p	k_d	$E_{rata-rata}$ (lx)
Merata	16	1.600	4	2	0	12.800	0,7	0,8	94

Keterangan: η = Jumlah lampu malafungsi

Sumber: Hasil perhitungan (2022)

Pada Tabel 7 dapat dilihat bahwa iluminasi ruangan rata-rata pada ruang *office* sebesar 94 lx dan nilai ini jauh di bawah standar minimum sebesar 300 lx untuk pekerjaan kantor. Ini berarti setiap titik dari ruangan ini belum memenuhi standar pencahayaan. Penggantian jenis lampu dengan fluks luminans lebih tinggi perlu dilakukan untuk memenuhi standar tersebut. Ruangan ini sehari-hari

digunakan sebagai tempat berbagai aktivitas kantor seperti mengetik, menulis, surat–menyurat, menyalin dan mencetak dokumen, *staff briefing*, serta kontrol *line* produksi dan juga *warehousing control*.

Koefisien depresiasi (k_d) yang merupakan koefisien rugi–rugi cahaya diasumsikan 0,8 pada ruangan ini dengan pertimbangan kondisi armatur dan ruangan dalam keadaan yang baik pasca satu tahun pembersihan (Putranto, et al., 2021). Sedangkan koefisien pemanfaatan (k_p) untuk sementara diasumsikan 0,7 pada perhitungan ini dengan pertimbangan luasan bidang yang diterangi relatif sempit, *ceiling* relatif rendah, dan reflektansi warna dinding, lantai dan langit–langit adalah sedang. Adapun nilai k_p ruangan ini yang sebenarnya dapat dihitung melalui substitusi Persamaan 1 dengan nilai iluminasi rata–rata ruangan yang diperoleh dari *trial and error* menggunakan DIALux evo 10.1.

4.2.2 Ruang *Quality Control*

Dari hasil pengamatan langsung didapatkan bahwa kondisi ruang *quality control* yang diterangi pencahayaan merata (Gambar 13) memiliki bidang berbentuk persegi panjang dengan ukuran yang dapat dilihat pada Tabel 8. Namun, terdapat bidang potong yang membuat ruangan ini tidak membentuk bidang persegi panjang sempurna sehingga perlu dikurangi dengan luasan bidang potongnya. Sedangkan bidang yang diterangi oleh pencahayaan setempat meliputi meja pengujian mutu 1 dan meja pengujian mutu 2.



Gambar 13. Kondisi Ruang *Quality Control*
(Sumber: Dokumentasi penelitian, 2022)

Tabel 8. Bidang yang diterangi pada Ruang *Quality Control*

Bidang yang diterangi	p (m)	l (m)	A_0 (m ²)	A (m ²)
Seluruh bagian ruangan	6,8	6,6	1,6	43,3
Meja pengujian mutu 1	5,0	0,8	—	4,0
Meja pengujian mutu 2	3,0	0,8	—	2,4

Keterangan: A_0 = Luasan bidang potong

Sumber: Hasil pengukuran (2022)

Ruangan ini menggunakan dua jenis lampu berbeda menurut fungsi utamanya. Berdasarkan data spesifikasi lampu eksisting yang dapat dilihat pada Tabel 13, berikut merupakan hasil perhitungan iluminasi ruangan rata-rata melalui Persamaan 1, Persamaan 2, dan Persamaan 4 yang disajikan pada Tabel 9 di bawah ini.

Tabel 9. Iluminasi Rata-Rata Ruang *Quality Control*

Jenis pencahayaan	P_1 (W)	F_1 (lm)	$N_{armatur}$	n	η	F_{total} (lm)	k_p	k_d	$E_{rata-rata}$ (lx)
Merata	16	1.600	4	2	2	9.600	0,6	0,8	106
Setempat	13	1.200	9	1	0	10.800	0,6	0,8	810

Keterangan: η = Jumlah lampu malafungsi

Sumber: Hasil perhitungan, 2022

Pada Tabel 9 di atas dapat dilihat bahwa nilai iluminasi rata-rata meja kantor sebesar 106 lx (sumber pencahayaan merata) belum memenuhi standar pencahayaan minimum, yaitu 300 lx untuk pekerjaan kantor. Hal yang sama terjadi pada iluminasi rata-rata pada meja pengujian mutu sebesar 810 lx (sumber pencahayaan setempat) juga belum memenuhi standar pencahayaan minimum 1.000 lx.

Pada ruangan ini pekerjaan terbagi menjadi dua aktivitas utama, yaitu pekerjaan kantor dan pengujian mutu biji kopi. Pada meja kerja kantor tidak dilengkapi dengan lampu pencahayaan setempat. Pekerjaan kantor yang dilakukan sehari-hari, juga seperti mengetik, menulis, surat-menyurat, menyalin dan mencetak dokumen, *client briefing*, dan pelaporan mutu produk dilakukan di atas meja kantor. Sedangkan pada meja pengujian mutu dilengkapi dengan lampu pencahayaan setempat yang berada tepat di atas meja kerja. Pekerjaan yang sehari-

hari dilakukan pada meja pengujian ini adalah analisis mutu, termasuk kir biji kopi yang termasuk kategori pekerjaan ⁴⁰ membedakan barang yang sangat halus dengan kontras yang sangat kurang.

Koefisien depresiasi (k_d) ⁴⁰ yang merupakan koefisien rugi-rugi cahaya diasumsikan 0,8 pada ruangan ini (pencahayaannya merata) dengan pertimbangan kondisi armatur dan ruangan dalam keadaan yang baik pasca satu tahun pembersihan (Putranto, et al., 2021). Sedangkan koefisien pemanfaatan (k_p) untuk sementara diasumsikan 0,6 pada perhitungan ini dengan pertimbangan luasan bidang yang diterangi relatif sempit, *ceiling* relatif rendah, dan reflektansi warna dinding, lantai dan langit-langit adalah sedang. Nilai k_p ruangan ini yang sebenarnya dapat dihitung melalui substitusi Persamaan 1 dengan nilai iluminasi rata-rata ruangan yang diperoleh dari *trial and error* menggunakan DIALux evo 10.1.

4.3 Hasil Pengukuran Langsung

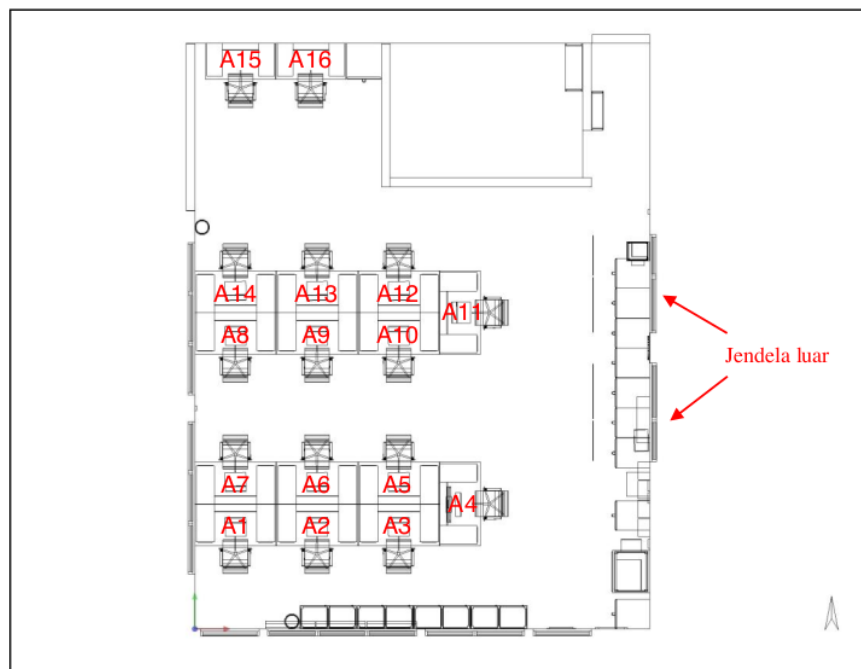
Pengukuran secara langsung ke lapangan perlu dilakukan untuk mengetahui bagaimana tingkat iluminasi pada masing-masing titik ukur secara nyata melalui hasil pembacaan alat ukur.

4.3.1 Ruang Office

Pengukuran iluminasi pada ruang *office* dilakukan terhadap 16 PIC (*Person in Charge*) atau 16 titik ukur menggunakan alat *lux meter*, dimana keseluruhan PIC melakukan aktivitas kerja yang sama, yaitu pekerjaan kantor. Pengukuran dilakukan sebanyak tiga kali pada tiga periode waktu, yaitu Pengukuran I (pukul ¹⁸ 08.00–11.00 WIB), Pengukuran II (pukul 11.00–14.00 WIB), dan Pengukuran III (pukul 14.00–17.00 WIB) pada kondisi cuaca cerah. Kondisi cuaca cerah adalah keadaan langit tanpa atau sedikit awan sehingga sinar matahari bersinar secara normal. Kondisi pencahayaan ruangan pada saat pengukuran mendapat pengaruh dari pencahayaan *daylight* yang masuk melalui jendela kaca dengan bukaan tirai (tipe *roller blind*) pada kondisi eksisting sebesar $\pm 20\%$. Adapun kondisi jendela kaca eksisting pada ruangan ⁹⁷ ini dapat dilihat pada Gambar 14 berikut.



Gambar 14. Bukaan Tirai Jendela Ruang *Office*
(Sumber: Dokumentasi penelitian, 2022)



Gambar 15. Titik Pengukuran Ruang *Office*
(Sumber: Data penelitian, 2022)

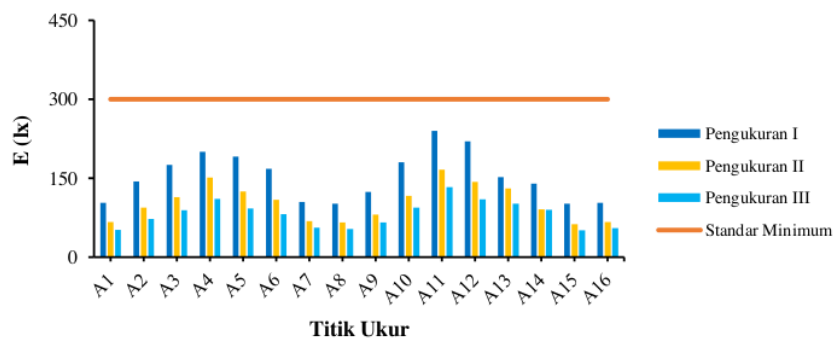
2
Titik ukur yang dihitung nilai iluminasinya adalah titik–titik yang sejajar dengan ketinggian meja kerja atau setinggi 0,76 meter di atas permukaan lantai. Berdasarkan Gambar 15, titik A4 dan A11 adalah titik yang paling dekat dari jendela luar. Sedangkan titik A1, A7, A8, A14, A15, dan A16 adalah titik paling

jauh dari jendela. Hasil pengukuran iluminasi pada ruangan ini disajikan pada Tabel 10 di bawah ini.

Tabel 10. Hasil Pengukuran Ruang *Office*

Titik Ukur	Nilai Iluminasi (lx)				Standar Minimum (lx)
	I	II	III	Rata-rata	
A1	103	67	52	74	300
A2	144	94	73	104	300
A3	175	114	89	126	300
A4	200	151	111	154	300
A5	191	125	93	136	300
A6	168	109	82	120	300
A7	105	69	56	77	300
A8	102	66	54	74	300
A9	124	81	66	90	300
A10	180	117	94	130	300
A11	240	166	133	180	300
A12	220	143	110	158	300
A13	152	131	102	128	300
A14	140	91	90	107	300
A15	102	63	51	72	300
A16	103	67	55	75	300
E _{rata-rata}	153	103	82	113	
E _{maks.}	240	166	133		
E _{min.}	102	63	51		

Sumber: Hasil pengukuran, 2022



Gambar 16. Hasil Pengukuran Ruang *Office*
(Sumber: Hasil pengukuran, 2022)

Pada Gambar 16 ditampilkan diagram nilai iluminasi hasil pengukuran pada tiap titik dinyatakan bahwa seluruhnya tidak memenuhi standar pencahayaan

minimum (300 lx) dengan nilai iluminasi rata-rata titik sebesar 113 lx (Tabel 10). Nilai iluminasi maksimum dicapai pada titik A11 sebesar 240 lx pada periode waktu Pengukuran I (pukul 08.00–11.00 WIB) disebabkan posisi meja kerja dekat dengan jendela kaca sehingga mendapat banyak pengaruh dari cahaya *daylight*. Pada periode waktu itu juga elevasi matahari agak lebih rendah sehingga pantulan sinar matahari menjadi lebih terang. Kemudian nilai iluminasi minimum sebesar 51 lx berada pada titik A15 terjadi pada periode Pengukuran III (pukul 14.00–17.00 WIB) disebabkan posisi meja kerja yang berada di sudut ruang dan paling jauh dari jendela kaca. Dikarenakan jendela sebagai jalan masuknya sumber cahaya *daylight* hanya datang dari arah sisi tenggara saja, maka terjadi perbedaan nilai iluminasi yang signifikan pada beberapa titik.

Jenis sistem pencahayaan buatan pada ruang *office* adalah sistem pencahayaan merata, dimana cahaya disebar merata ke setiap bagian ruang. Armatur yang terpasang pada langit-langit ruangan ini berjarak sama antara satu dengan lainnya. Armatur adalah rumah lampu yang digunakan untuk mengendalikan dan mendistribusikan cahaya yang dipancarkan lampu di dalamnya (SNI 03–6575–2001). Terdapat empat unit armatur dengan dua unit lampu pada tiap armatur, sehingga ada delapan unit lampu yang menerangi ruangan ini. Secara fungsional, semua unit berfungsi dengan baik (Tabel 7). Adapun spesifikasi lampu eksisting pada ruangan ini dapat dilihat pada Tabel 11. Pada ruangan ini terdapat partisi berupa dinding tripleks dengan laminasi cat putih sebagai pembatas musala (Gambar 17). Namun, partisi tersebut tidak sampai menyentuh *ceiling*, sehingga keberadaannya sebagai penghalang penyebaran cahaya dapat diabaikan dan justru partisi tersebut dapat meningkatkan nilai iluminasi karena faktor reflektansinya.

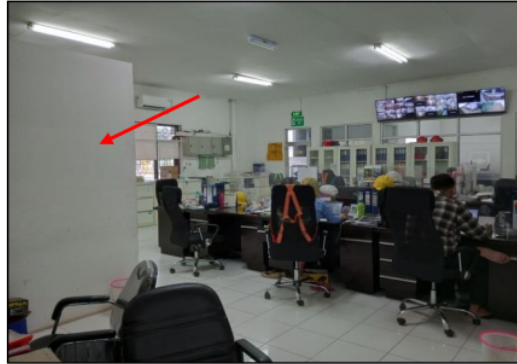
Tabel 11. Spesifikasi Lampu Eksisting di Ruang *Office*

Informasi	Keterangan
(1)	(2)
Produsen	PHILIPS
Nama produk	<i>Essential Smartbright T8 Batten</i>
Tipe	BN016C LED16/CW L1200 GM G2
Fluks luminans	1.600 lm
Temperatur warna lampu	6.500 K (<i>cold daylight</i>)
Konsumsi daya	16 W
Nilai Efisiensi	100 lm.W ⁻¹
Dimensi	1.174 × 28,4 × 35,7 mm

Tabel 11 (Lanjutan)

(1)	(2)
Usia lampu sejak terpasang	$\pm 3,5$ tahun (± 30.600 jam)*
Jenis armatur	Armatur <i>v-shape</i> *
Fungsi utama lampu	Menerangi seluruh isi ruang*

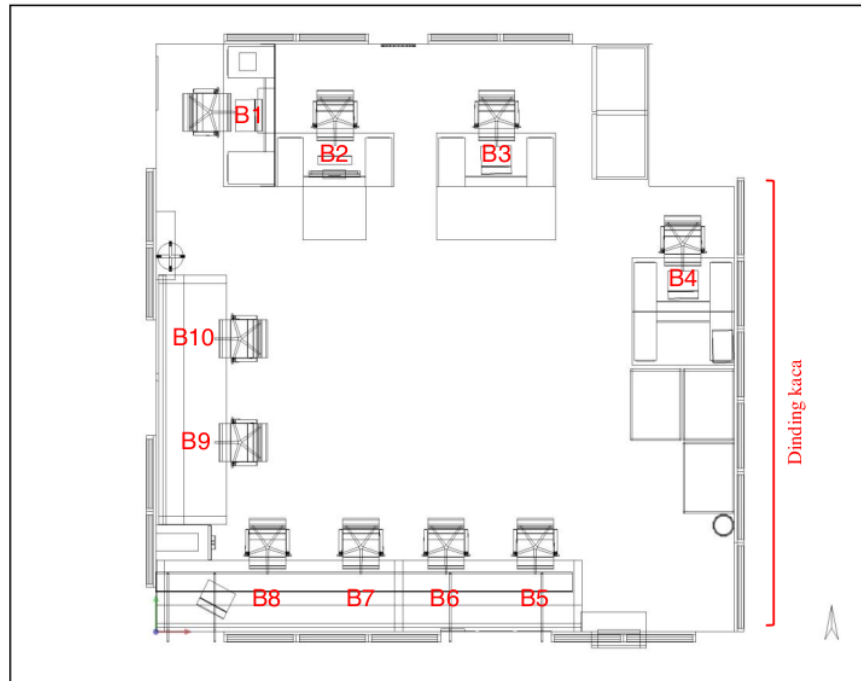
Keterangan: * = Hasil pengamatan
 Sumber: Philips (2022)



Gambar 17. Partisi Musala Ruang Office
 (Sumber: Dokumentasi penelitian, 2022)

4.3.2 Ruang *Quality Control*

Pengukuran iluminasi pada ruang *quality control* dilakukan terhadap 10 PIC (*Person in Charge*) atau 10 titik ukur menggunakan alat *lux meter*, dimana terdapat enam PIC melakukan pengujian mutu biji kopi dan empat PIC lainnya melakukan pekerjaan kantor sehingga standar pencahayaannya pun berbeda. Adapun titik–titik pengukuran dapat dilihat pada Gambar 18. Pengukuran dilakukan sebanyak tiga kali pada tiga periode waktu, yaitu Pengukuran I (pukul 08.00–11.00 WIB), Pengukuran II (pukul 11.00–14.00 WIB), dan Pengukuran III (pukul 14.00–17.00 WIB) pada kondisi cuaca cerah. Meskipun demikian, perlu diketahui bahwa ruangan ini tidak memiliki akses langsung dengan sumber cahaya *daylight*.



Gambar 18. Titik Pengukuran Ruang *Quality Control*
(Sumber: Data penelitian, 2022)

Titik ukur yang dihitung nilai iluminasinya adalah titik-titik yang sejajar dengan ketinggian meja kerja atau setinggi 0,76 meter di atas permukaan lantai. Berdasarkan Gambar 18, titik B4 dan B5 adalah titik yang paling dekat dari dinding kaca. Sedangkan titik B1 dan B2 adalah titik yang paling jauh dari dinding kaca. Hasil pengukuran iluminasi pada ruang *quality control* disajikan pada Tabel 12 berikut.

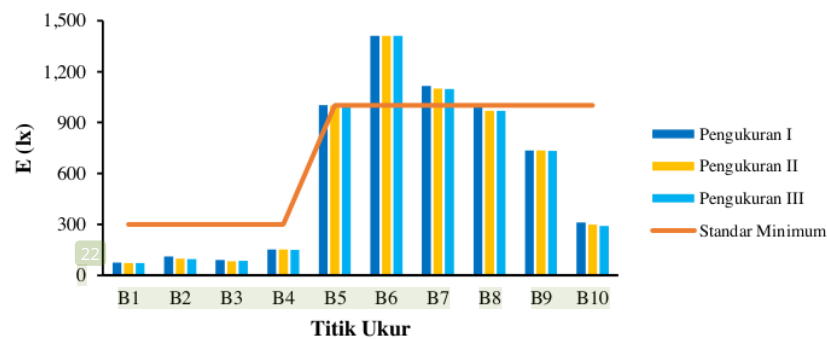
Tabel 12. Hasil Pengukuran Ruang *Quality Control*

Titik Ukur	Nilai Iluminasi (lx)				Standar Minimum (lx)
	I	II	III	Rata-rata	
(1)	(2)	(2)	(4)	(5)	(6)
B1	75	73	73	74	300
B2	110	98	95	101	300
B3	90	83	84	86	300
B4	153	152	150	152	300
E _{rata-rata}	107	102	101	103	
E _{maks.}	153	152	150		
E _{min.}	75	73	73		

Tabel 12 (Lanjutan)

	(1)	(2)	(2)	(4)	(5)	(6)
B5		1.002	1.001	997	1.000	1.000
B6		1.410	1.410	1.410	1.410	1.000
B7		1.115	1.100	1.097	1.104	1.000
B8		989	970	969	976	1.000
B9		736	735	733	735	1.000
B10		312	299	292	301	1.000
E _{rata-rata}		927	919	916	921	
E _{maks.}		1.410	1.410	1.410		
E _{min.}		312	299	292		

Sumber: Data pengukuran, 2022



Gambar 19. Hasil Pengukuran Ruang *Quality Control*
(Sumber: Hasil pengukuran, 2022)

Pada Gambar 19 ditampilkan diagram nilai iluminasi hasil pengukuran pada tiap titik yang terbagi menjadi dua menurut standar pencahayaannya, yaitu meja kantor (titik B1, B2, B3, dan B4) dan meja pengujian mutu (titik B5, B6, B7, B8, B9, dan B10).

1. Hasil pengukuran iluminasi meja kantor dinyatakan bahwa seluruhnya tidak memenuhi standar pencahayaan minimum (300 lx) dengan nilai iluminasi rata-rata titik ukur sebesar 103 lx (Tabel 12). Nilai iluminasi maksimum dicapai pada titik B4 sebesar 153 lx pada periode waktu Pengukuran I (pukul 08.00–11.00 WIB) disebabkan posisi meja kerja dekat dengan dinding kaca sehingga mendapat sedikit pengaruh cahaya *daylight* dari ruang *office*. Kemudian nilai iluminasi minimum sebesar 73 lx berada pada titik B1

terjadi pada periode Pengukuran II dan III (pukul 11.00–17.00 WIB) disebabkan posisi meja kerja yang berada di sudut ruang dan paling jauh dari dinding kaca. Dikarenakan ruangan ini tidak mendapat akses cahaya *daylight* yang baik, maka cahaya *daylight* tidak berpengaruh signifikan terhadap pencahayaan ruangan ini, sehingga pengaruh cahaya *daylight* dapat diabaikan dan iluminasi ruangan ini sepenuhnya mengandalkan cahaya lampu.

2. Hasil pengukuran iluminasi meja pengujian mutu dinyatakan bahwa hanya ada tiga dari enam titik yang memenuhi standar pencahayaan minimum (1.000 lx), yaitu titik B5, B6, dan B7 dengan nilai iluminasi rata-rata berturut sebesar 1.000, 1.410, dan 1.104 lx (Tabel 12). Namun, secara keseluruhan iluminasi rata-rata titik ukur sebesar 921 lx. Nilai iluminasi maksimum dicapai pada titik B6 sebesar 1.410 lx pada semua periode waktu (pukul 08.00–17.00 WIB) disebabkan posisi meja kerja dekat dengan dinding kaca sehingga mendapat sedikit pengaruh cahaya *daylight* dari ruang *office* dan juga posisi lampu setempat yang berada tepat di atas meja kerja. Kemudian nilai iluminasi minimum sebesar 292 lx berada pada titik B10 terjadi pada periode Pengukuran III (pukul 14.00–17.00 WIB) disebabkan posisi meja kerja yang berada paling jauh dari dinding kaca dan posisi lampu setempat tidak berada tepat di atas meja kerja.

Jenis sistem pencahayaan buatan pada ruang *quality control* adalah sistem pencahayaan gabungan, dimana lampu dipasang pada langit-langit (pencahayaan merata) dan juga dipasang di atas meja kerja (pencahayaan setempat). Armatur yang terpasang pada langit-langit ruangan ini berjarak sama antara satu dengan lainnya. Untuk sistem pencahayaan merata, terdapat empat unit armatur dengan dua unit lampu pada tiap armaturnya, sehingga ada delapan unit lampu yang menerangi ruangan ini. Secara fungsional, hanya enam unit yang dapat berfungsi (Tabel 9). Sedangkan untuk sistem pencahayaan setempat, terdapat sembilan unit armatur dengan satu unit lampu pada tiap armaturnya. Secara fungsional, semua unit berfungsi dengan baik (Tabel 9). Adapun spesifikasi lampu eksisting pada ruangan ini dapat dilihat pada Tabel 13 berikut.

Tabel 13. Spesifikasi Lampu Eksisting di Ruang *Quality Control*

Informasi	Sistem Pencahayaan	
	Merata	Setempat
Produsen	PHILIPS	PHILIPS
Nama produk	<i>Essential Smartbright T8 Batten</i>	<i>Essential Smartbright T5 Batten</i>
Tipe	BN016C LED16/CW L1200 GM G2	BN058C LED11/CW 1200 GM
Fluks luminans	1.600 lm	1.200 lm
Temperatur warna lampu	6.500 K (<i>cold daylight</i>)	6.500 K (<i>cold daylight</i>)
Konsumsi daya	16 W	13 W
Nilai efisiensi	100 lm.W ⁻¹	92 lm.W ⁻¹
Dimensi	1.174,0 × 28,4 × 35,7 mm	1.173,0 × 21,0 × 32,2 mm
Usia lampu sejak terpasang	±3,5 tahun (±30.600 jam)*	±1 tahun (±8.700 jam)*
Jenis armatur	Armatur <i>v-shape</i> *	Armatur palung*
Fungsi utama lampu	Menerangi seluruh isi ruangan*	Menerangi meja pengujian mutu*

Keterangan: * = Hasil pengamatan

Sumber: Philips (2022)

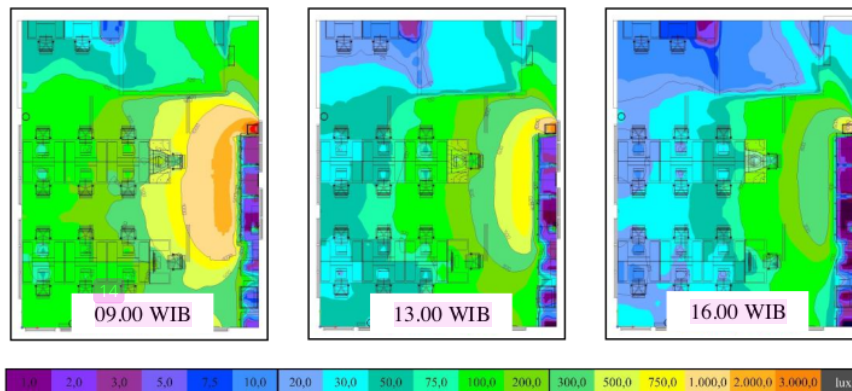
4.4 Simulasi Pencahayaan Alami

Pencahayaan alami (*daylight*) adalah cahaya yang berasal dari benda penerang alam seperti matahari, bulan, dan bintang (Dora & Nilasari, 2011). Cahaya *daylight* matahari dapat bersumber dari sinar matahari langsung, langit cerah, langit berawan, atau pantulan permukaan bawah dan bangunan sekitarnya. Pada bangunan kantor LDC Trading Indonesia, orientasi bangunan menghadap ke arah tenggara dan juga menghadap langsung ke Gunung Balau, Bandarlampung sehingga sinar matahari tidak dapat masuk secara langsung ke jendela kaca. Simulasi pencahayaan alami menggunakan DIALux evo 10.1 dilakukan untuk mengetahui bagaimana kondisi pencahayaan ruang tanpa dibantu pencahayaan buatan, sehingga dapat diketahui seberapa besar pengaruh cahaya *daylight* terhadap iluminasi ruangan.

4.4.1 Ruang Office

Cahaya *daylight* pada langit cerah terdiri dari dua komponen, yaitu *direct light* (sinar datang langsung) dan *skylight* (sinar datang tidak langsung). Pada ruangan ini komponen cahaya utamanya adalah *skylight*, dimana cahaya *daylight* berasal dari pantulan langit biru yang hanya masuk melewati jendela kaca sisi

tenggara ruangan, kemudian tersebar dengan tingkat terang rendah. Simulasi dilakukan pada tanggal 20 Juli 2022 pada tiga waktu berbeda, yaitu pukul 09.00, 13.00, dan 16.00 WIB. Setelah dilakukan simulasi diperoleh nilai iluminasi pada setiap titik yang diukur, sehingga terlihat kontur cahaya yang ditunjukkan dengan skala warna (*false colors*). Ternyata iluminasi ruangan yang ditampilkan sangat tidak merata. Adapun penyebaran cahayanya dapat dilihat pada Gambar 20 di bawah ini.



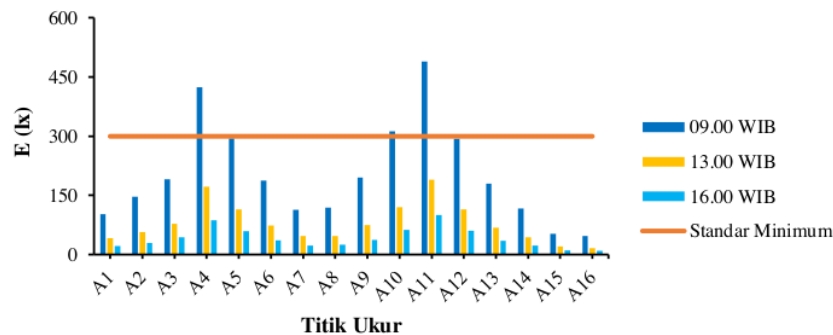
Gambar 20. *False Colors* Simulasi Pencahayaan Alami Ruang *Office*
(Sumber: Hasil DIALux evo 10.1, 2022)

Berdasarkan Gambar 20 dapat dihitung luas penyebaran cahaya *daylight*. Pada pukul 09.00 WIB di ketinggian 0,76 meter di atas permukaan lantai hanya 40% dari total luas lantai memiliki nilai iluminasi ruangan di atas 300 lx. Kemudian pada pukul 13.00 WIB sebesar 14% dan pukul 16.00 WIB hanya sebesar 6% dan ini terus berkurang pada waktu selanjutnya hingga mencapai 0% pada malam hari. Salah satu alasannya adalah ukuran jendela, maka diperlukan jendela kaca yang lebih besar. Namun, terlalu banyak kaca bisa menyebabkan panas yang berlebihan dan bisa menimbulkan silau (Cofaigh, et al., 1996). Cahaya menjadi tidak nyaman ketika menghasilkan silau. Silau merupakan efek samping yang paling mengganggu dari sebuah pencahayaan. Maka dari itu, perlu dilakukan penggantian jenis tirai jendela dengan tipe *horizontal blind* sehingga pemanfaatan cahaya *daylight* menjadi lebih optimal dan silau dapat dikurangi. Untuk lebih rinci nilai iluminasi *daylight* disajikan pada Tabel 14 di bawah ini.

Tabel 14. Hasil Simulasi Pencahayaan Alami Ruang *Office*

Titik Ukur	Nilai Iluminasi (lx)				Standar Minimum (lx)
	09.00	13.00	16.00	Rata-Rata	
A1	103	41	22	56	300
A2	147	57	29	78	300
A3	191	79	44	104	300
A4	424	172	87	228	300
A5	295	115	60	157	300
A6	187	74	37	99	300
A7	114	47	23	62	300
A8	119	47	25	64	300
A9	195	74	38	102	300
A10	312	120	62	165	300
A11	489	190	100	260	300
A12	294	115	60	156	300
A13	180	69	36	95	300
A14	117	44	23	61	300
A15	52	20	11	28	300
A16	48	17	10	25	300
E _{rata-rata}	204	80	44	109	
E _{maks}	489	190	100		
E _{min}	48	17	10		

Sumber: Hasil DIALux evo 10.1 (2022)



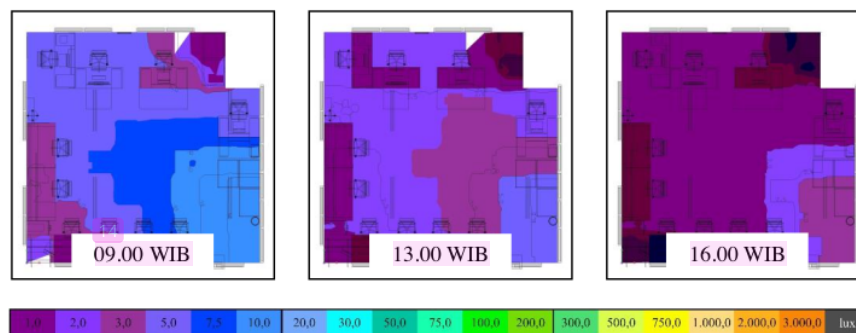
Gambar 21. Hasil Simulasi Pencahayaan Alami Ruang *Office*
(Sumber: Hasil DIALux evo 10.1, 2022)

Gambar 21 menunjukkan diagram nilai iluminasi tiap titik pada kondisi simulasi pencahayaan alami. Secara umum, nilai maksimum pencahayaan *daylight* terjadi pada pagi hari atau pukul 09.00 WIB. Dari Tabel 14 di atas dapat dilihat bahwa titik yang paling dekat dengan jendela, yaitu titik A11 memiliki iluminasi yang paling tinggi, yaitu 489 lx yang terjadi pada pukul 09.00 WIB. Sedangkan

iluminasi paling rendah berada pada titik A16, yaitu 48 lx pada waktu yang sama. Nilai ini terus berkurang pada titik lainnya. Berkurangnya nilai tersebut adalah karena semakin jauh jarak titik tersebut dengan sumber cahaya *daylight* serta terhalang oleh dinding partisi musala setinggi 2,2 meter. Hanya terdapat tiga titik, yaitu A4, A10, dan A11 yang memenuhi standar pencahayaan minimum dan itu pun hanya terjadi pada pukul 09.00 WIB, lebih dari waktu tersebut ruangan tidak layak dilakukan aktivitas pekerjaan kantor sehingga memerlukan cahaya tambahan dari pencahayaan buatan. Ada banyak cara dan metode yang bisa dilakukan untuk memenuhi persyaratan tersebut, diantaranya dengan memodifikasi letak dan luas jendela pada bangunan, namun dalam perencanaannya perlu perhitungan yang tepat (Setiyowati, 2009).

4.4.2 Ruang *Quality Control*

Pada ruangan ini komponen utama pencahayaan *daylight* adalah *skylight*, dimana cahaya berasal dari ruang *office* karena tidak adanya sekat pada ruang tersebut dan tersebar dengan tingkat terang sangat rendah (<10 lx). Simulasi dilakukan pada tanggal 20 Juli 2022 pada tiga waktu, yaitu pukul 09.00, 13.00, dan 16.00 WIB. Setelah dilakukan simulasi menggunakan DIALux evo 10.1 diperoleh nilai iluminasi pada setiap titik yang diukur, sehingga terlihat kontur penyebaran cahayanya yang ditunjukkan dengan skala warna (*false colors*). Ternyata iluminasi yang ditampilkan hampir merata. Adapun penyebaran cahayanya dapat dilihat pada Gambar 22 di bawah ini.



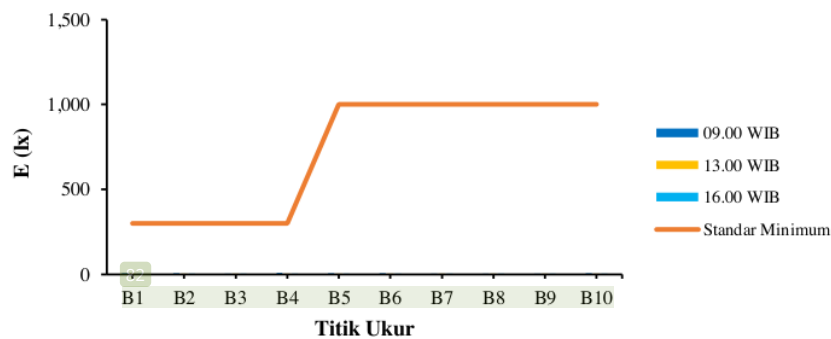
Gambar 22. *False Colors* Simulasi Pencahayaan Alami Ruang *Quality Control*
(Sumber: Hasil DIALux evo 10.1, 2022)

Pada Gambar 22 dapat dilihat bahwa tidak ada satupun titik pada ruangan ini yang nilai iluminasinya di atas 300 lx, baik pada pukul 09.00, 13.00 ataupun 16.00 WIB. Hal tersebut dikarenakan posisi ruangan ini sangat jauh dari jendela kaca, sehingga dapat dikatakan hampir tidak mendapat cahaya *daylight* sama sekali. Dapat dilihat bahwa ruangan ini sangat mengandalkan pencahayaan dari lampu. Untuk lebih rinci nilai iluminasi *daylight* disajikan pada Tabel 15 di bawah ini.

Tabel 15. Hasil Simulasi Pencahayaan Alami Ruang *Quality Control*

Titik Ukur	Nilai Iluminasi (lx)				Standar Minimum (lx)
	09.00	13.00	16.00	Rata-Rata	
B1	5	2	1	3	300
B2	6	2	1	3	300
B3	4	2	1	2	300
B4	7	3	1	4	300
E _{rata-rata}	6	2	1	3	
E _{maks}	7	3	1		
E _{min}	4	2	1		
B5	5	2	2	3	1.000
B6	4	2	1	2	1.000
B7	3	1	1	2	1.000
B8	2	1	1	1	1.000
B9	3	1	1	2	1.000
B10	4	2	1	2	1.000
E _{rata-rata}	4	2	1	2	
E _{maks}	5	2	2		
E _{min}	2	1	1		

Sumber: Hasil DIALux evo 10.1 (2022)



Gambar 23. Hasil Simulasi Pencahayaan Alami Ruang *Quality Control*
(Sumber: Hasil DIALux evo 10.1, 2022)

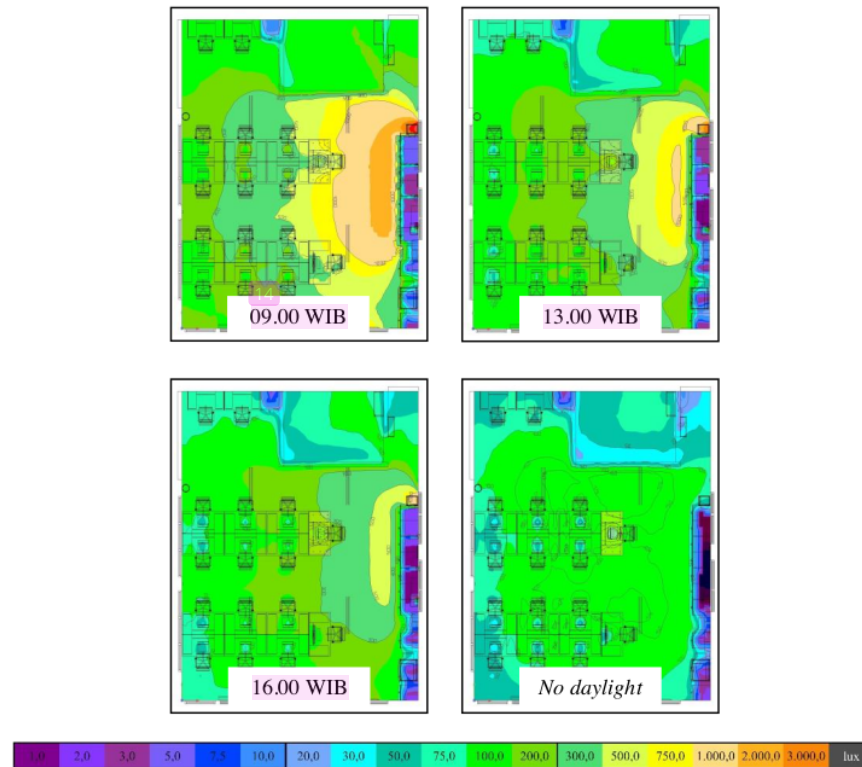
Gambar 23 menunjukkan diagram nilai iluminasi tiap titik pada simulasi pencahayaan alami. Dapat dilihat bahwa iluminasinya sangat rendah bahkan hampir tidak terlihat, namun relatif seragam dan nilainya tidak jauh berbeda karena pengaruh waktu. Berdasarkan Tabel 15 dapat dilihat bahwa nilai maksimum untuk pencahayaan *daylight* pada meja kantor dicapai pada pukul 09.00 WIB pada titik B4 sebesar 7 lx, sementara pada meja pengujian mutu sebesar 5 lx pada titik B5 di waktu yang sama. Ini disebabkan bahwa kedua meja kerja tersebut berada dekat dengan dinding kaca yang tembus ke ruang *office* yang notabene mendapat pencahayaan *daylight*. Nilai ini terus berkurang di titik-titik selanjutnya, hingga mencapai nilai 1 lx. Berkurangnya nilai tersebut adalah karena semakin jauh jarak titik tersebut dengan sumber cahaya *daylight*. Dengan demikian, ruang *quality control* tidak layak dilakukannya aktivitas pekerjaan kantor dan analisis pengujian mutu sehingga sangat perlu mengandalkan pencahayaan buatan sebagai sumber pencahayaan utama.

4.5 Simulasi Pencahayaan Eksisting

Simulasi pencahayaan eksisting adalah visualisasi ruang saat ini berdasarkan akumulasi berbagai sumber pencahayaan yang berasal dari cahaya *daylight* dan pencahayaan buatan. Simulasi ini menampilkan kondisi yang hampir mirip dengan kondisi aslinya, seperti spesifikasi dan tata letak lampu eksisting serta pengaruh cahaya *daylight*. Hal ini diperlukan sebagai acuan dalam melakukan simulasi pencahayaan optimalisasi.

4.5.1 Ruang Office

Simulasi ini dilakukan pada tanggal 20 Juli 2022 pada empat kondisi berbeda, yaitu pukul 09.00, 13.00, 16.00 WIB dan *no daylight*/malam hari menggunakan DIALux evo 10.1. Selanjutnya diperoleh nilai iluminasi pada setiap titik yang diukur, sehingga terlihat kontur penyebaran cahaya yang ditunjukkan dengan skala warna (*false colors*). Terlihat bahwa cahaya *daylight* memiliki pengaruh besar terhadap iluminasi ruangan. Adapun penyebaran cahaya tersebut dapat dilihat pada Gambar 24.



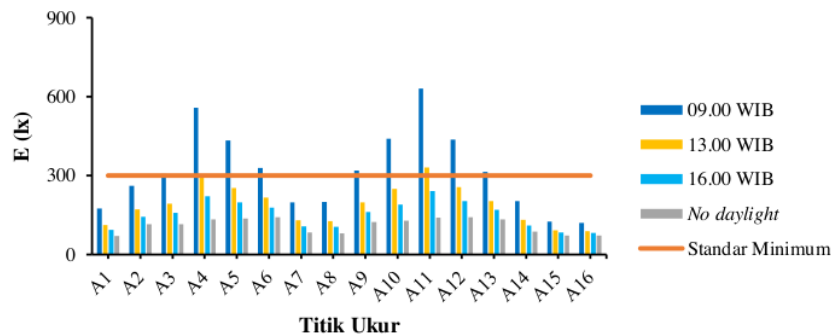
Gambar 24. False Colors Simulasi Pencahayaan Eksisting Ruang Office
(Sumber: Hasil DIALux evo 10.1, 2022)

Berdasarkan Gambar 24 di atas dapat dihitung luas penyebaran cahaya yang terjadi pada empat kondisi. Pada pukul 09.00 WIB di ketinggian 0,76 meter di atas permukaan lantai sekitar 52% dari total luas lantai, memiliki nilai iluminasi ruangan di atas 300 lx. Kemudian pada pukul 13.00 WIB sebesar 27% dan pukul 16.00 WIB sebesar 17% dan ini terus berkurang pada waktu selanjutnya hingga mencapai 0% pada malam hari. Secara umum dapat dilihat bahwa terjadi peningkatan iluminasi terhadap titik ukur dibanding kondisi pencahayaan *daylight* karena adanya sumber cahaya tambahan dari lampu eksisting. Dapat dilihat juga bahwa pengaruh pencahayaan *daylight* cukup signifikan pada ruangan ini. Namun, pada kondisi *no daylight* lampu eksisting belum dapat mengakomodir kebutuhan pencahayaan. Untuk hasil yang lebih rinci, nilai iluminasi pada simulasi pencahayaan eksisting disajikan pada Tabel 16 di bawah ini.

Tabel 16. Hasil Simulasi Pencahayaan Eksisting Ruang *Office*

Titik Ukur	Nilai Iluminasi (lx)					Standar Minimum (lx)
	09.00	13.00	16.00	No daylight	Rata-Rata	
A1	175	113	94	72	113	300
A2	262	172	144	115	173	300
A3	306	194	159	115	194	300
A4	558	305	221	134	305	300
A5	433	253	198	138	256	300
A6	329	216	178	142	216	300
A7	198	131	107	84	130	300
A8	200	128	106	81	129	300
A9	319	198	162	124	201	300
A10	441	249	191	129	253	300
A11	630	331	242	141	336	300
A12	437	257	203	143	260	300
A13	314	203	170	134	205	300
A14	204	132	111	88	134	300
A15	125	93	84	73	94	300
A16	120	89	82	72	91	300
E _{rata-rata}	316	191	153	111	193	
E _{maks}	630	331	242	143		
E _{min}	120	89	82	72		

Sumber: Hasil DIALux evo 10.1 (2022)



Gambar 25. Hasil Simulasi Pencahayaan Eksisting Ruang *Office*
(Sumber: Hasil DIALux evo 10.1, 2022)

Gambar 25 menunjukkan diagram nilai iluminasi tiap titik pada simulasi pencahayaan eksisting. Secara umum, nilai maksimum pada simulasi ini terjadi pada pagi hari atau pukul 09.00 WIB. Dari Tabel 16 dapat dilihat bahwa titik yang paling dekat dengan jendela kaca, yaitu titik A4 dan A11 memiliki nilai iluminasi yang paling tinggi, yaitu 558 dan 630 lx terjadi pada pukul 09.00 WIB. Sedangkan

nilai iluminasi paling rendah berada pada titik A15 dan A16, yaitu 125 dan 120 lx pada waktu yang sama. Nilai ini terus berkurang signifikan pada titik-titik lainnya hingga mencapai nilai 72 lx pada kondisi *no daylight*. Berkurangnya nilai tersebut adalah karena semakin jauh jarak titik tersebut dengan sumber cahaya *daylight* serta tata letak armatur dan lampu eksisting yang kurang menyebar. Hanya ada sembilan titik, yaitu A3, A4, A5, A6, A9, A10, A11, A12, dan A13 yang memenuhi standar pencahayaan minimum dan itu pun hanya terjadi pada pukul 09.00 WIB, lebih dari waktu tersebut sebagian besar titik tidak layak dilakukan aktivitas pekerjaan kantor sehingga diperlukan penggantian jenis lampu dengan nilai fluks luminans yang lebih tinggi, penambahan titik pemasangan, dan tata letak yang lebih tepat. Hasil visualisasi secara 3D pada simulasi pencahayaan eksisting ruang *office* dapat dilihat pada Gambar 26 di bawah ini.

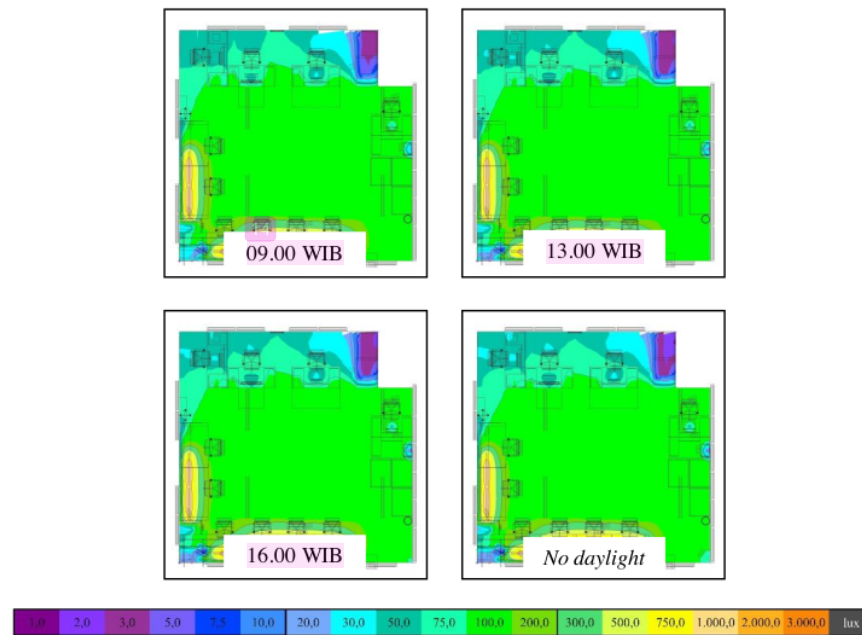


Gambar 26. Visualisasi 3D Simulasi Pencahayaan Eksisting Ruang *Office*
(Sumber: Hasil DIALux evo 10.1, 2022)

4.5.2 Ruang *Quality Control*

Simulasi juga dilakukan pada tanggal 20 Juli 2022 pada empat kondisi berbeda, yaitu pukul 09.00, 13.00, 16.00 WIB dan *no daylight*/malam hari. Setelah dilakukan simulasi menggunakan DIALux evo 10.1 diperoleh nilai iluminasi pada setiap titik yang diukur, sehingga terlihat kontur penyebaran cahaya yang

ditunjukkan dengan skala warna (*false colors*). Terlihat bahwa penyebaran cahaya relatif seragam dan tidak terpengaruh signifikan terhadap waktu. Adapun penyebaran cahaya tersebut dapat dilihat pada Gambar 27 di bawah ini.



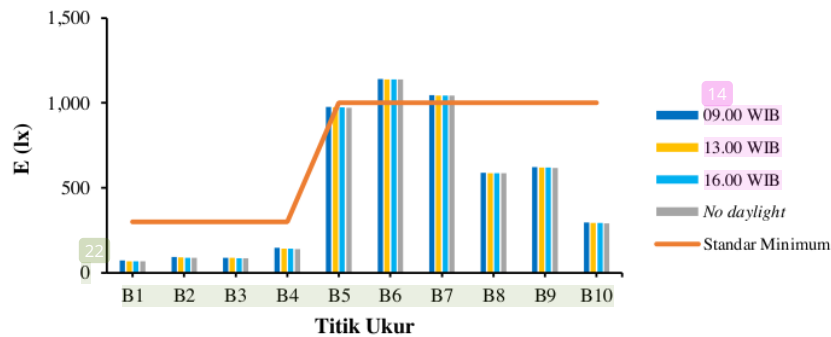
Gambar 27. *False Colors* Simulasi Pencahayaan Eksisting Ruang *Quality Control*
(Sumber: Hasil DIALux evo 10.1, 2022)

Berdasarkan Gambar 27 dapat dihitung luas penyebaran cahaya yang terjadi, baik pada pukul 09.00, 13.00, 16.00 WIB, dan kondisi *no daylight* hanya ada sekitar 13% dari total luas lantai pada ketinggian 0,76 meter dari permukaan lantai yang memiliki iluminasi di atas 300 lx dan seluruhnya berada pada titik–titik meja pengujian mutu yang notabene mendapat pencahayaan setempat tambahan yang dipasang tepat di atas meja tersebut. Pada titik–titik meja kantor (A1, A2, A3, dan A4) belum ada yang memenuhi standar minimum dan ini sejalan dengan data hasil pengukuran langsung. Hal ini terjadi karena cahaya *daylight* relatif tidak memiliki pengaruh dalam pencahayaan ruangan ini. Untuk hasil yang lebih rinci, nilai iluminasi pada simulasi pencahayaan eksisting disajikan pada Tabel 17 di bawah ini.

Tabel 17. Hasil Simulasi Pencahayaan Eksisting Ruang *Quality Control*

Titik Ukur	Nilai Iluminasi (lx)				Rata-Rata	Standar Minimum (lx)
	09.00	13.00	16.00	No daylight		
B1	72	68	68	66	68	300
B2	93	89	89	87	90	300
B3	89	87	86	85	87	300
B4	147	142	141	139	142	300
E _{rata-rata}	100	97	96	94	97	
E _{maks}	147	142	141	139		
E _{min}	72	68	68	66		
B5	977	974	973	972	974	1.000
B6	1.141	1.139	1.138	1.138	1.139	1.000
B7	1.046	1.044	1.043	1.043	1.044	1.000
B8	588	587	587	586	587	1.000
B9	621	619	619	618	619	1.000
B10	295	293	292	291	293	1.000
E _{rata-rata}	778	776	775	775	776	
E _{maks}	1.141	1.139	1.138	1.138		
E _{min}	295	293	292	291		

Sumber: Hasil DIALux evo 10.1 (2022)



Gambar 28. Hasil Simulasi Pencahayaan Eksisting Ruang *Quality Control*
(Sumber: Hasil DIALux evo 10.1, 2022)

Pada Gambar 28 ditampilkan diagram nilai iluminasi pada simulasi pencahayaan eksisting di tiap titik yang terbagi menjadi dua menurut standar pencahayaannya, yaitu meja kantor (titik B1, B2, B3, dan B4) dan meja pengujian mutu (titik B5, B6, B7, B8, B9, dan B10).

1. Hasil pengukuran iluminasi meja kantor dinyatakan bahwa seluruhnya tidak memenuhi standar pencahayaan minimum (300 lx) dengan nilai iluminasi

titik rata-rata sebesar 97 lx (Tabel 17). Nilai iluminasi maksimum dicapai pada titik B4 sebesar 147 lx terjadi pada pukul 09.00 WIB disebabkan posisi meja kerja dekat dengan dinding kaca sehingga mendapat sedikit pengaruh cahaya *daylight* dari ruang *office*. Namun, alasan lain karena mendapat pencahayaan tambahan tidak langsung dari sumber cahaya setempat yang dipasang pada meja pengujian mutu. Selanjutnya nilai iluminasi minimum sebesar 66 lx berada pada titik B1 terjadi pada kondisi *no daylight* disebabkan posisi meja kerja yang berada di sudut ruang dan paling jauh dari bukaan jendela. Dikarenakan ruangan ini tidak mendapat sumber cahaya *daylight* yang baik, maka cahaya tersebut tidak berarti pada ruangan ini sehingga pengaruh cahaya *daylight* dapat diabaikan dan nilai iluminasi ruangan ini sepenuhnya mengandalkan cahaya lampu eksisting.

2. Hasil pengukuran iluminasi meja pengujian mutu dinyatakan bahwa hanya ada dua dari enam titik yang memenuhi standar pencahayaan minimum (1.000 lx), yaitu titik B6 dan B7 dengan nilai iluminasi rata-rata sebesar 1.139 dan 1.044 lx (Tabel 17). Nilai iluminasi maksimum dicapai pada titik B6 sebesar 1.141 lx pada pukul 09.00 WIB disebabkan posisi meja kerja dekat dengan dinding kaca sehingga mendapat sedikit pengaruh cahaya *daylight* dari ruang *office* dan juga posisi lampu setempat yang berada tepat di atas meja kerja. Kemudian nilai iluminasi minimum sebesar 291 lx berada pada titik B10 terjadi pada kondisi *no daylight* disebabkan posisi meja kerja yang berada paling jauh dari jendela kaca dan posisi lampu tambahan yang tidak berada tepat di atas meja kerja.

Secara umum pada spesifikasi, jumlah pemasangan, dan tata letak lampu eksisting tidak cukup tepat. Sebagian besar titik tidak layak dilakukan aktivitas pekerjaan kantor dan pengujian mutu biji kopi sehingga memerlukan penggantian jenis lampu dengan nilai fluks luminans yang lebih tinggi, penambahan titik pemasangan, dan tata letak yang lebih tepat. Hasil visualisasi secara 3D pada simulasi pencahayaan eksisting ruang *quality control* dapat dilihat pada Gambar 29 berikut ini.



Gambar 29. Visualisasi 3D Simulasi Pencahayaan Eksisting Ruang *Quality Control*
(Sumber: Hasil DIALux evo 10.1, 2022)

4.6 Simulasi Pencahayaan Optimalisasi

Pada perancangan pencahayaan optimalisasi hanya berfokus pada percobaan pencahayaan buatan, seperti percobaan penggantian spesifikasi lampu, jumlah titik pemasangan, dan tata letak lampu.

4.6.1 Ruang *Office*

Pekerjaan kantor termasuk dalam kategori pekerjaan pembedaan yang teliti pada barang kecil dan halus, dimana Menteri Ketenagakerjaan melalui Peraturan Menteri Ketenagakerjaan Republik Indonesia (PERMENAKER) Nomor 5 Tahun 2018 menyatakan bahwa standar pencahayaan minimum untuk kategori pekerjaan tersebut sebesar 300 lx. Ruangan ini memiliki bidang yang diterangi seluas 76,44 m². Pemilihan lampu baru jenis LED didasarkan oleh penelitian Kamaruddin, et al. (2016) yang menyatakan bahwa penggunaan lampu ini dapat menghemat energi 30–50% dibandingkan lampu tipe CFL. Adapun data spesifikasi lampu baru disajikan pada Tabel 18 di bawah ini. Dasar lain pertimbangan dalam pemilihan lampu tersebut karena lampu ini memiliki nilai efisiensi sebesar 210 lm.W⁻¹ atau lebih hemat energi sebesar 52,38% dibandingkan lampu eksisting yang hanya 100 lm.W⁻¹. Hal ini berarti lampu dapat memancarkan cahaya lebih banyak pada

konsumsi daya yang sama. Selain itu, menurut SNI 03–6575–2001 pada ruang kantor disarankan memakai temperatur warna lampu antara 3.300–5.300 K (sedang) sehingga cahaya tidak terlalu biru ataupun tidak terlalu kuning, serta disarankan menggunakan ⁴¹armatur berkisi untuk mengurangi silau akibat pantulan layar monitor (Lampiran 26).

Tabel 18. Spesifikasi Lampu Baru di Ruang *Office*

Informasi	Keterangan
Produsen	25 PHILIPS
Nama produk	Master LEDtube T8 Ultra Efficient
Tipe	MAS LEDtube 1500mm UE 17,6W 840 T8 EELA
Fluks luminans	3.700 lm
Temperatur warna lampu	4.000 K (<i>cold white</i>)
Konsumsi daya	17,6 W
Efisiensi cahaya	210 lm.W ⁻¹
Dimensi	1.498,8 × 25,8 × 25,8 mm
Masa pakai	100.000 jam

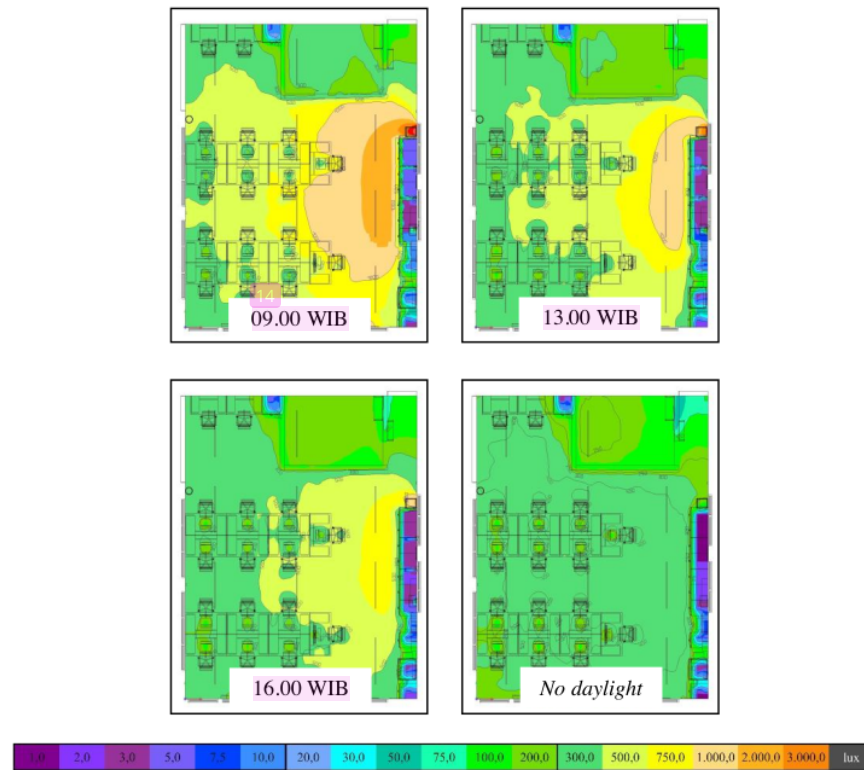
Sumber: Philips (2022)

Tabel 19. Kebutuhan Lampu Baru Ruang *Office*

Jenis pencahayaan	P_l (W)	F_l (lm)	$N_{armatur}$	n	F_{total} (lm)	k_p	k_d	$E_{rata-rata}$ (lx)
Merata	17,6	3.700	11	1	40.700	0,7043	0,8	300

Sumber: Hasil perhitungan (2022)

Tabel 19 merupakan data kebutuhan lampu baru yang dihitung menggunakan metode lumen. Berdasarkan perhitungan, diperoleh jumlah titik pemasangan lampu ideal sebanyak 11 titik yang dipasang secara paralel dengan konfigurasi 3–3–3–2 (Lampiran 19) untuk mencapai nilai iluminasi rata-rata ruangan sebesar 300 lx dengan asumsi tidak ada cahaya *daylight*. Konfigurasi ini didapatkan setelah dilakukan percobaan simulasi menggunakan DIALux evo 10.1. Selanjutnya, setelah diketahui jumlah kebutuhan lampu lalu dilakukan perhitungan kembali menggunakan substitusi persamaan 1 sehingga diketahui nilai koefisien pemanfaatan (k_p) sebenarnya pada ruangan ini, yaitu sebesar 0,7043. Adapun jenis pencahayaan pada ruangan ini adalah merata atau menerangi seluruh isi ruangan. Hasil penyebaran cahaya pada simulasi pencahayaan optimalisasi menggunakan DIALux evo 10.1 ⁵dapat dilihat pada Gambar 30 di bawah ini.



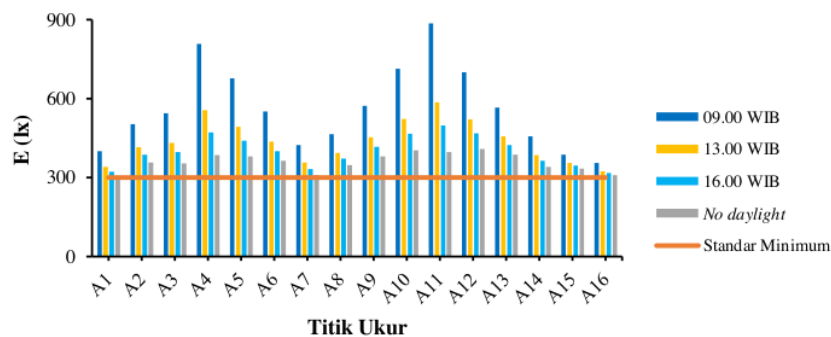
Gambar 30. *False Colors* Simulasi Pencahayaan Optimalisasi Ruang *Office*
(Sumber: Hasil DIALux evo 10.1, 2022)

Pada Gambar 30 disajikan ilustrasi penyebaran cahaya yang ditunjukkan dengan skala warna (*false colors*). Pada penelitian ini disimulasikan sebanyak empat kondisi berbeda. Pada kondisi pertama, dilakukan pukul 09.00 WIB dengan akumulasi pencahayaan *daylight* dan pencahayaan buatan didapatkan bahwa 86% pencahayaan ruang pada ketinggian 0,76 meter memiliki nilai iluminasi di atas 300 lx, selanjutnya pada pukul 13.00 WIB sebesar 76%, lalu pukul 16.00 WIB sebesar 74%, dan pada kondisi keempat yaitu kondisi *no daylight* sebesar 69%, meskipun demikian pada tiap titik di setiap kondisi telah memenuhi standar pencahayaan minimum (300 lx). Ini berarti paling tidak dibutuhkan 11 unit lampu dengan spesifikasi tersebut untuk mencapai standar pencahayaan, kurang dari jumlah itu tidak akan tercapai. Adapun nilai iluminasi yang lebih rinci disajikan pada Tabel 20 berikut ini.

Tabel 20. Hasil Simulasi Pencahayaan Optimalisasi Ruang *Office*

Titik Ukur	Nilai Iluminasi (lx)					Standar Minimum (lx)
	09.00	13.00	14.00	No daylight	Rata-rata	
A1	401	341	322	300	341	300
A2	503	415	387	358	416	300
A3	545	432	397	354	432	300
A4	808	556	472	385	555	300
A5	677	494	441	381	498	300
A6	551	437	400	364	438	300
A7	424	357	333	310	356	300
A8	465	394	373	347	395	300
A9	572	453	417	380	456	300
A10	714	523	467	404	527	300
A11	886	586	498	398	592	300
A12	701	522	468	408	525	300
A13	566	456	424	388	459	300
A14	456	385	364	341	387	300
A15	387	355	346	335	356	300
A16	356	325	318	309	327	300
E _{rata-rata}	563	439	402	360	441	
E _{maks}	886	586	498	408		
E _{min}	356	325	318	300		

Sumber: Hasil DIALux evo 10.1 (2022)



Gambar 31. Hasil Simulasi Pencahayaan Optimalisasi Ruang *Office*
(Sumber: Hasil DIALux evo 10.1, 2022)

Gambar 31 menunjukkan diagram nilai iluminasi tiap titik pada simulasi pencahayaan optimalisasi. Secara umum, nilai maksimum pada simulasi pencahayaan optimalisasi tetap terjadi pada pagi hari atau pukul 09.00 WIB, nilai ini terus berkurang pada waktu-waktu selanjutnya. Dari Tabel 20 dapat dilihat bahwa titik yang paling dekat dengan jendela luar, yaitu titik A11 memiliki nilai

iluminasi yang paling tinggi, yaitu 886 lx dicapai pada pukul 09.00 WIB. Sedangkan nilai iluminasi paling rendah ada pada titik A16, yaitu 356 lx pada waktu yang sama. Bila diperhatikan terdapat perbedaan nilai cukup signifikan dan ini karena pengaruh dari cahaya *daylight* karena pada dasarnya pada titik ini berada pada posisi paling menguntungkan. Nilai iluminasi berkurang pada titik–titik lainnya, hingga mencapai nilai tepat 300 lx di titik A1 pada kondisi *no daylight*. Meskipun demikian masih masuk standar pencahayaan minimum. Dapat disimpulkan bahwa penggantian spesifikasi, jumlah titik pemasangan, dan perubahan tata letak lampu yang telah disimulasikan menggunakan DIALux evo 10.1 telah memenuhi standar pencahayaan minimum bahkan pada kondisi *no daylight* sekalipun. Hasil visualisasi secara 3D pada simulasi setelah optimalisasi ruang *office* dapat dilihat pada Gambar 32 di bawah ini.



Gambar 32. Visualisasi 3D pada Simulasi Pencahayaan Optimalisasi Ruang *Office*
(Sumber: Hasil DIALux evo 10.1, 2022)

4.6.2 Ruang *Quality Control*

Pekerjaan kantor termasuk dalam kategori pekerjaan pembedaan yang teliti pada barang kecil dan halus, kemudian pekerjaan pengujian mutu termasuk kategori pekerjaan sangat halus dengan kontras sangat kurang, dimana Menteri Ketenagakerjaan melalui Peraturan Menteri Ketenagakerjaan (PERMENAKER)

Nomor 5 Tahun 2018 menyatakan bahwa standar pencahayaan minimum untuk kategori pekerjaan-pekerjaan tersebut sebesar 300 dan 1.000 lx. Ruangan ini memiliki bidang yang diterangi oleh pencahayaan merata seluas 43,3 m², dimana seluas 6,4 m² (14,8%) dibantu oleh pencahayaan setempat. Pemilihan lampu baru jenis LED juga didasarkan oleh penelitian Kamaruddin, et al. (2016) yang menyatakan bahwa penggunaan lampu ini dapat menghemat energi 30–50% dibandingkan lampu tipe CFL. Dasar lain pertimbangan dalam pemilihan lampu tersebut karena lampu ini memiliki nilai efisiensi cahaya sebesar 210 lm.W⁻¹ (lebih hemat energi sebesar 52,38%) pada lampu merata dan 92 lm.W⁻¹ (lebih hemat energi sebesar 56,19%) pada lampu setempat. Itu berarti lampu-lampu ini dapat memancarkan fluks luminans lebih banyak pada konsumsi daya yang sama. Selain itu, menurut SNI 03–6575–2001 pada ruang kantor disarankan memakai temperatur warna lampu antara 3.300 s.d. 5.300 K (sedang) sehingga cahaya tidak terlalu biru ataupun tidak terlalu kuning, serta disarankan menggunakan armatur berkisi untuk mengurangi silau akibat pantulan layar monitor (Lampiran 26).

Tabel 21. Spesifikasi Lampu Baru di Ruang *Quality Control*

Informasi	Sistem Pencahayaan	
	Merata	Setempat
Produsen	25 PHILIPS	25 PHILIPS
Nama produk	Master LEDtube T8 Ultra Efficient	Master LEDtube T8 Ultra Efficient
Tipe	MAS LEDtube UE 17,6W 840 T8 EELA	MAS LEDtube UE 11,9W 840 T8 EELA
Fluks luminans	3.700 lm	2.500 lm
Temperatur warna lampu	4.000 K (<i>cold white</i>)	4.000 K (<i>cool white</i>)
Konsumsi daya	17,6 W	11,9 W
Efisiensi cahaya	210 lm.W ⁻¹	210 lm.W ⁻¹
Dimensi	1.498,8 × 25,8 × 25,8 mm	1.198,2 × 25,8 × 25,8 mm
Masa pakai	100.000 jam	100.000 jam
Fungsi utama lampu	Menerangi seluruh isi ruang*	Menerangi meja pengujian mutu*

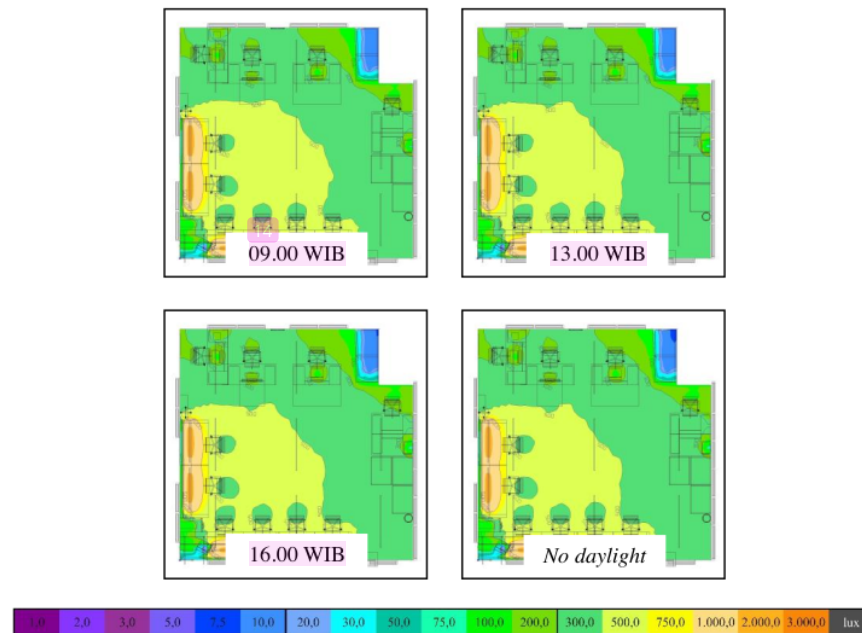
Sumber: Philips (2022)

Tabel 22. Kebutuhan Lampu Baru Ruang *Quality Control*

Jenis pencahayaan	P_1 (W)	F_1 (lm)	$N_{armatur}$	n	F_{total} (lm)	k_p	k_d	$E_{rata-rata}$ (lx)
Merata	17,6	3.700	8	1	29.600	0,5483	0,8	300
Setempat	11,9	2.500	5	1	12.500	0,6400	0,8	1.000

Sumber: Hasil perhitungan (2022)

Tabel 22 di atas merupakan data kebutuhan lampu baru yang dihitung menggunakan metode lumen. Berdasarkan perhitungan, pada jenis pencahayaan merata diperoleh jumlah titik pemasangan lampu ideal sebanyak 8 titik yang dipasang secara paralel dengan konfigurasi 3–3–2 (Lampiran 21) untuk mencapai nilai iluminasi rata-rata ruangan sebesar 300 lx dengan asumsi tidak ada cahaya *daylight*. Lalu pada jenis pencahayaan setempat pada meja pengujian mutu diperoleh jumlah titik pemasangan lampu ideal sebanyak 5 titik yang dipasang secara seri (tiga unit dipasang pada meja pengujian 1 dan dua unit dipasang di meja pengujian 2) agar mencapai nilai iluminasi di atas 1.000 lx. Selanjutnya, setelah diketahui jumlah kebutuhan lampu lalu dilakukan perhitungan kembali menggunakan substitusi persamaan 1 sehingga diketahui nilai koefisien pemanfaatan (k_p) sebenarnya pada ruangan ini sebesar 0,5483. Sementara itu bidang yang diterangi oleh pencahayaan setempat memiliki nilai k_p sebesar 0,64. Nilai k_p ini menjadi rujukan pada perhitungan nantinya, sewaktu ada perancangan pencahayaan buatan baru ke depannya.



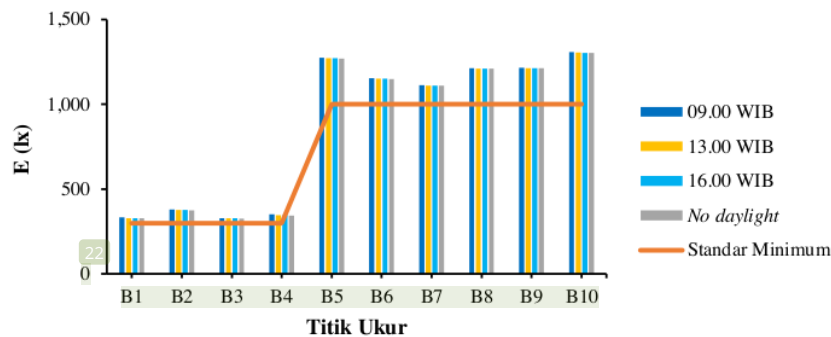
Gambar 33. False Colors Simulasi Pencahayaan Optimalisasi Ruang *Quality Control*
(Sumber: Hasil DIALux evo 10.1, 2022)

Pada Gambar 33 disajikan ilustrasi penyebaran cahaya empat kondisi ³² pada pukul 09.00, 13.00, 16.00 WIB, dan kondisi *no daylight* yang ditunjukkan dengan skala warna (*false colors*). Ternyata sebanyak 89% dari total luas lantai ³² pada ketinggian 0,76 meter dari permukaan lantai pada setiap waktu memiliki iluminasi relatif seragam di atas 300 lx. Hal ini terjadi karena cahaya *daylight* tidak memiliki pengaruh berarti dalam iluminasi ruangan ini. Seluruh titik ukur pada setiap kondisi telah memenuhi standar pencahayaan minimum sebesar 300 lx untuk meja kantor dan 1.000 lx untuk meja pengujian mutu. Adapun nilai iluminasi yang lebih rinci disajikan ²⁴ pada Tabel 23 berikut ini.

Tabel 23. Hasil Simulasi Pencahayaan Optimalisasi Ruang *Quality Control*

Titik Ukur	Nilai Iluminasi (lx)				Rata-Rata	Standar Minimum (lx)
	09.00	13.00	16.00	No daylight		
B1	333	330	329	328	330	300
B2	381	377	377	375	378	300
B3	330	328	328	327	328	300
B4	353	348	346	345	348	300
E _{rata-rata}	349	346	345	344	346	
E _{maks}	381	377	377	348		
E _{min}	330	328	328	327		
B5	1.275	1.272	1.271	1.270	1.272	1.000
B6	1.153	1.151	1.150	1.149	1.151	1.000
B7	1.113	1.111	1.110	1.110	1.111	1.000
B8	1.212	1.210	1.210	1.210	1.211	1.000
B9	1.216	1.214	1.213	1.213	1.214	1.000
B10	1.307	1.305	1.304	1.303	1.305	1.000
E _{rata-rata}	1.213	1.211	1.210	1.209	1.211	
E _{maks}	1.307	1.305	1.304	1.199		
E _{min}	1.113	1.111	1.110	1.110		

Sumber: Hasil DIALux evo 10.1 (2022)



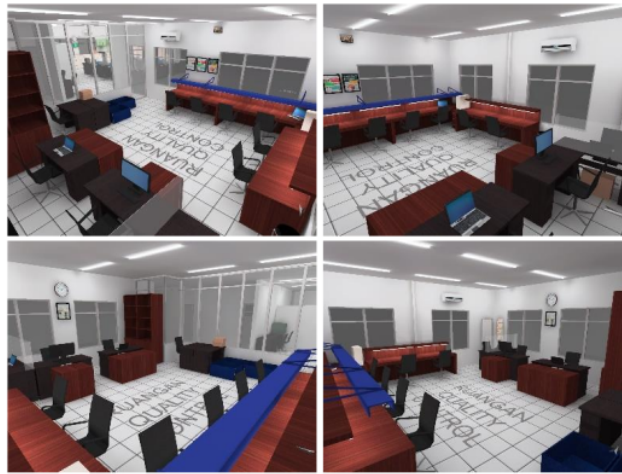
Gambar 34. Hasil Simulasi Pencahayaan Optimalisasi Ruang *Quality Control*
(Sumber: Hasil DIALux evo 10.1, 2022)

Pada Gambar 34 di atas ditampilkan diagram nilai iluminasi pada simulasi pencahayaan optimalisasi di tiap titik yang terbagi menjadi dua menurut standar pencahayaan, yaitu meja kantor (titik B1, B2, B3, dan B4) dan meja pengujian mutu (titik B5, B6, B7, B8, B9, dan B10).

1. Hasil pengukuran iluminasi meja kantor dinyatakan bahwa seluruh titik telah memenuhi standar pencahayaan minimum (>300 lx) dengan nilai iluminasi rata-rata sebesar 346 lx (Tabel 23). Nilai iluminasi maksimum dicapai pada titik ukur B2 sebesar 381 lx pada pukul 09.00 WIB disebabkan posisi lampu merata yang baru berada tepat di langit-langit titik tersebut. Kemudian nilai iluminasi minimum sebesar 327 lx berada pada titik B3 terjadi pada kondisi *no daylight* disebabkan posisi meja kerja yang berada di sudut ruang dan terpengaruhi oleh reflektansi lemari penyimpanan sampel berwarna coklat *walnut* yang berada tepat di sampingnya.
2. Hasil pengukuran iluminasi meja pengujian mutu dinyatakan bahwa seluruh titik telah memenuhi standar pencahayaan minimum untuk kategori pekerjaan ini (>1.000 lx) dengan nilai iluminasi rata-rata sebesar 1.211 (Tabel 23). Nilai iluminasi maksimum dicapai pada titik B10 sebesar 1.307 lx pada pukul 09.00 WIB disebabkan posisi lampu baru berada tepat di langit-langit titik tersebut. Kemudian nilai iluminasi minimum sebesar 1.110 lx berada pada titik B7 terjadi pada pukul 13.00 dan 16.00 WIB

disebabkan posisi lampu merata berada kurang tepat di langit-langit titik tersebut.

Dapat disimpulkan bahwa penggantian spesifikasi, jumlah titik pemasangan, dan perubahan tata letak lampu yang telah disimulasikan menggunakan DIALux evo 10.1 telah memenuhi standar pencahayaan bahkan pada kondisi *no daylight* sekalipun. Hasil visualisasi secara 3D pada simulasi pencahayaan optimalisasi ruang *quality control* dapat dilihat pada Gambar 35 di bawah ini.



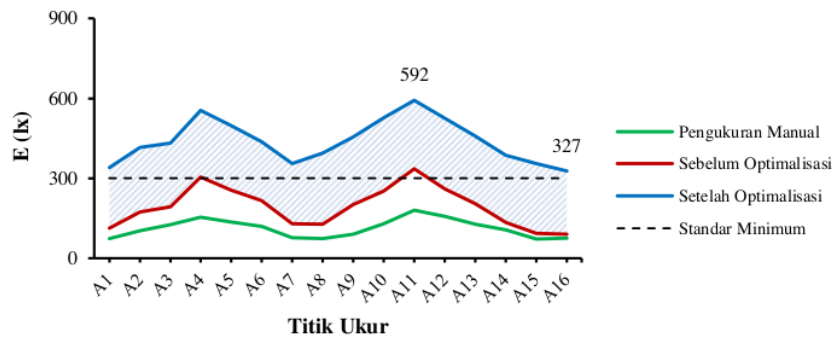
Gambar 35. Visualisasi 3D pada Simulasi Pencahayaan Optimalisasi Ruang *Quality Control*
(Sumber: Hasil DIALux evo 10.1, 2022)

4.7 Analisis Perbandingan Hasil Simulasi

Analisis perbandingan hasil simulasi dilakukan untuk melihat pengaruh optimalisasi terhadap variabel dalam penelitian ini, seperti iluminasi, kepadatan daya, konsumsi energi, dan biaya listrik dimana pada optimalisasi ini memerlukan biaya listrik sebesar 14% lebih tinggi daripada kondisi eksisting apabila diterapkan nantinya, namun produktivitas dan kesehatan pekerja diharapkan meningkat serta kenyamanan visual tercapai dalam bekerja karena tingkat iluminasi yang diperlukan sudah cukup tepat.

4.7.1 Ruang Office

Gambar 36 di bawah ini merupakan grafik perbandingan hasil simulasi untuk nilai iluminasi rata-rata pada tiap titik dari hasil pengukuran manual/langsung, simulasi pencahayaan eksisting, dan simulasi pencahayaan optimalisasi menggunakan DIALux evo 10.1 pada ruang *office*.



Gambar 36. Perbandingan Hasil Simulasi Ruang *Office*
(Sumber: Hasil DIALux evo 10.1, 2022)

Berdasarkan grafik di atas dapat dinyatakan bahwa nilai iluminasi rata-rata dari hasil pengukuran langsung dengan hasil perhitungan DIALux evo 10.1 (kondisi eksisting) tidak jauh berbeda. Namun, ada beberapa titik yang nilainya jauh berbeda, seperti pada titik A4 pengukuran langsung terukur rata-rata 154 lx (Tabel 10) sedangkan menurut DIALux evo 10.1 terhitung rata-rata 305 lx (Tabel 16). Hal yang sama terjadi pada titik A11 dimana pengukuran langsung terukur rata-rata 180 lx sedangkan menurut DIALux evo 10.1 terhitung rata-rata 336 lx. Hal ini disebabkan oleh cahaya *daylight* yang masuk secara masif (100%) pada simulasi DIALux karena aplikasi tidak mendukung adanya fitur tirai membran tipe *rolling blind*. Sedangkan pada kondisi nyata saat pengukuran, jendela utama tertutupi $\pm 80\%$ oleh tirai tersebut sehingga membatasi cahaya *daylight* yang masuk. Selain itu, perbedaan nilai reflektansi pada permukaan dinding, lantai, langit-langit, dan objek ruang terhadap apa yang disimulasikan juga memengaruhi perbedaan nilai iluminasi tersebut.

Tabel 24. Perbandingan Hasil Simulasi Ruang *Office*

Titik Ukur	Nilai Iluminasi Rata-Rata (lx)		Simpangan
	Sebelum Optimalisasi	Setelah Optimalisasi	
A1	113	341	67%
A2	173	416	58%
A3	194	432	55%
A4	305	555	45%
A5	256	498	49%
A6	216	438	51%
A7	130	356	63%
A8	129	395	67%
A9	201	456	56%
A10	253	527	52%
A11	336	592	43%
A12	260	525	50%
A13	205	459	55%
A14	134	387	65%
A15	94	356	74%
A16	91	327	72%

Sumber: Hasil DIALux evo 10.1 dan Hasil perhitungan (2022)

Pada Tabel 24 di atas dapat dilihat perbandingan nilai iluminasi setelah optimalisasi terhadap kondisi eksisting menggunakan DIALux evo 10.1. Dapat dinyatakan bahwa seluruh titik telah memenuhi standar pencahayaan minimum untuk kategori pekerjaan di ruangan ini, yaitu ≥ 300 lx. Nilai iluminasi rata-rata pada seluruh titik adalah sebesar 441 lx. Adapun nilai tertinggi untuk iluminasi rata-rata tercapai pada titik A11 sebesar 592 lx, sedangkan nilai terendah berada pada titik A16 sebesar 327 lx. Hal ini dapat terjadi karena posisi titik terhadap jendela arah datangnya cahaya *daylight* saling memengaruhi dimana titik A11 berada paling dekat dengan jendela, sedangkan titik A16 paling tidak ada akses terhadap sumber cahaya tersebut. Usaha penggantian spesifikasi, jumlah titik pemasangan, dan perubahan tata letak lampu yang disimulasikan sudah cukup tepat. Sementara itu, untuk persentase peningkatan iluminasi setelah optimalisasi berkisar 43–74%.

Tabel 25. Perbandingan Variabel lain pada Ruang *Office*

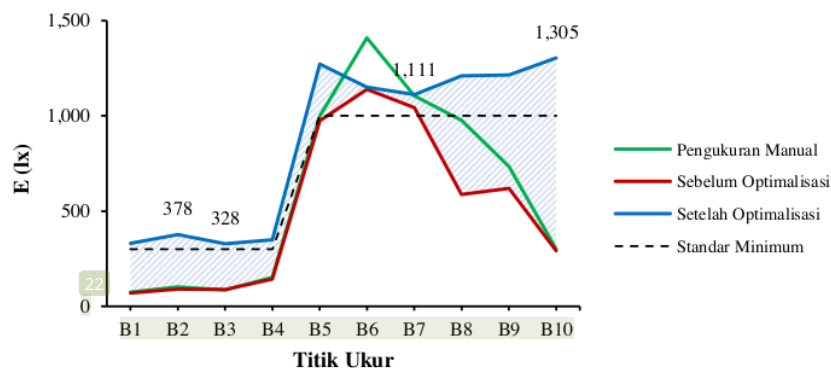
Variabel	Sebelum Optimalisasi	Setelah Optimalisasi
Kepadatan daya (W.m^{-2})	1,67	2,53
Konsumsi energi (kWh.tahun^{-1})	359,42	543,63
Biaya listrik per tahun	Rp547.144,00	Rp827.555,00

Sumber: Hasil perhitungan (2022)

Tabel 25 di atas menunjukkan perbandingan terhadap nilai kepadatan daya, konsumsi energi, dan biaya yang harus dikeluarkan dalam setahun pada usulan perbaikan pencahayaan. Nilai kepadatan daya menunjukkan peningkatan sebesar 34% pada kondisi optimalisasi menjadi $2,53 \text{ W.m}^{-2}$, nilai ini masih memenuhi standar sebagai ruang kantor terhadap SNI 03–6575–2001 dengan nilai maksimum 15 W.m^{-2} . Nilai kepadatan daya yang terlalu tinggi dibarengi dengan meningkatnya konsumsi energi dan biaya listrik sehingga menjadi hal yang perlu dipertimbangkan dalam pemilihan lampu baru.

4.7.2 Ruang *Quality Control*

Gambar 37 berikut merupakan grafik perbandingan nilai iluminasi rata-rata dari hasil pengukuran, simulasi pencahayaan eksisting, dan simulasi pencahayaan optimalisasi menggunakan DIALux evo 10.1 pada ruang *quality control*.



Gambar 37. Perbandingan Hasil Simulasi Ruang *Quality Control*
(Sumber: Hasil DIALux evo 10.1, 2022)

Berdasarkan grafik di atas dinyatakan bahwa nilai iluminasi rata-rata dari hasil pengukuran manual/langsung dengan hasil perhitungan DIALux evo 10.1 (kondisi eksisting) juga tidak jauh berbeda. Namun, terdapat beberapa titik yang nilainya jauh berbeda, seperti pada titik B6 pengukuran langsung terukur rata-rata 1.410 lx (Tabel 12), sedangkan menurut DIALux evo 10.1 terhitung rata-rata 1.139 lx (Tabel 17). Hal yang sama terjadi pada titik B8 dimana pengukuran langsung

terukur rata-rata 976 lx sedangkan menurut DIALux evo 10.1 terhitung 587 lx. Hal ini dikarenakan oleh perbedaan nilai reflektansi permukaan material dan objek di sekitarnya terhadap apa yang disimulasikan juga saling memengaruhi. Terdapat beberapa objek benda yang tidak dapat divisualisasikan oleh DIALux evo 10.1.

Tabel 26. Perbandingan Hasil Simulasi Ruang *Quality Control*

Titik Ukur	Nilai Iluminasi (lx)		Simpangan
	Sebelum Optimalisasi	Setelah Optimalisasi	
B1	68	330	79%
B2	90	378	76%
B3	87	328	73%
B4	142	348	59%
B5	974	1.272	23%
B6	1.139	1.151	1%
B7	1.044	1.111	6%
B8	587	1.211	52%
B9	619	1.214	49%
B10	293	1.305	78%

Sumber: Hasil DIALux evo 10.1 dan Hasil perhitungan (2022)

Pada Tabel 26 dapat dilihat perbandingan nilai iluminasi setelah dioptimalisasi terhadap kondisi eksisting menggunakan DIALux evo 10.1. Dapat dinyatakan bahwa seluruh titik telah memenuhi standar pencahayaan minimum untuk kategori-kategori pekerjaan di ruangan ini ≥ 300 lx (pekerjaan kantor) dan ≥ 1.000 lx (pengujian mutu). Nilai tertinggi untuk iluminasi rata-rata tercapai pada titik B2 sebesar 378 lx untuk meja kantor dan 1.305 lx pada titik B10 untuk meja pengujian mutu, sedangkan nilai terendah berada pada titik B3 sebesar 328 lx untuk meja kantor dan 1.111 lx pada titik B7 untuk meja pengujian mutu. Nilai-nilai tersebut cenderung seragam dan merata sehingga penggantian spesifikasi, jumlah titik pemasangan, dan perubahan tata letak lampu yang disimulasikan sudah cukup tepat. Untuk persentase peningkatan iluminasi setelah optimalisasi berkisar 1–79%.

Tabel 27. Perbandingan Variabel Lain pada Pencahayaan Merata

Variabel	Sebelum Optimalisasi	Setelah Optimalisasi
Kepadatan daya (W.m^{-2})	2,22	3,25
Konsumsi energi (kWh.tahun^{-1})	269,57	395,37
Biaya listrik per tahun	Rp410.358,00	Rp601.858,00

Sumber: Hasil perhitungan (2022)

Tabel 28. Perbandingan Variabel Lain pada Pencahayaan Setempat

Variabel	Sebelum Optimalisasi	Setelah Optimalisasi
Kepadatan daya (W.m^{-2})	18,28	9,3
Konsumsi energi (kWh.tahun^{-1})	328,54	167,08
Biaya listrik per tahun	Rp500.124,00	Rp254.336,00

Sumber: Hasil perhitungan (2022)

Tabel 27 dan Tabel 28 menunjukkan perbandingan terhadap nilai kepadatan daya, konsumsi energi, dan biaya yang harus dikeluarkan dalam setahun pada usulan perbaikan pencahayaan. Nilai kepadatan daya menunjukkan peningkatan sebesar 32% pada pencahayaan lampu merata menjadi $3,25 \text{ W.m}^{-2}$. Sedangkan pada pencahayaan setempat, nilai kepadatan daya menurun sebesar 49% menjadi $9,3 \text{ W.m}^{-2}$. Nilai-nilai ini sudah memenuhi standar sebagai ruang kantor secara umum terhadap SNI 03-6575-2001 dengan nilai maksimum 15 W.m^{-2} . Nilai kepadatan daya yang terlalu tinggi akan dibarengi dengan meningkatnya konsumsi energi dan biaya listrik sehingga menjadi hal yang perlu dipertimbangkan dalam pemilihan lampu baru.

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian tentang analisis tingkat iluminasi pada ruang kerja LDC Trading Indonesia dapat diperoleh beberapa kesimpulan, diantaranya:

1. Pada ruang *office*, seluruh meja kerja kantor dengan 16 PIC memiliki tingkat iluminasi rata-rata di bawah standar pencahayaan PERMENAKER Nomor 5 Tahun 2018.
2. Pada ruang *quality control*, seluruh meja kantor dengan empat PIC juga memiliki tingkat iluminasi rata-rata di bawah standar pencahayaan PERMENAKER Nomor 5 Tahun 2018, sementara pada meja pengujian mutu hanya terdapat tiga dari enam PIC yang memenuhi standar pencahayaan.
3. Usulan perbaikan pencahayaan yang dapat dilakukan pada ruang *office* adalah dengan mengganti pencahayaan merata eksisting dengan lampu PHILIPS LEDtube T8 *Ultra Efficient* 17,6 W 3.700 lm sebanyak 11 unit yang dipasang secara paralel dengan konfigurasi 3–3–2.
4. Usulan perbaikan pencahayaan yang dapat dilakukan pada ruang *quality control* adalah dengan mengganti pencahayaan merata eksisting dengan lampu PHILIPS LEDtube T8 *Ultra Efficient* 17,6 W 3.700 lm sebanyak 8 unit yang dipasang secara paralel dengan konfigurasi 3–3–2, serta mengganti pencahayaan setempat eksisting dengan lampu PHILIPS LEDtube T8 *Ultra Efficient* 11,9 W 2.500 lm sebanyak 5 unit yang dipasang secara seri.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan pada analisis selanjutnya, yaitu perlu dilakukan analisis ekonomi lanjutan, termasuk perhitungan biaya pengadaan lampu baru pada usulan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional, 2001. *SNI 03-6575-2001 tentang Tata Cara Perancangan Sistem Pencahayaan Buatan pada Bangunan Gedung*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional, 2019. *SNI 7062-2019 tentang Pengukuran Intensitas Pencahayaan di Tempat Kerja*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Brewer, S., 2006. Workplace Interventions to Prevent Musculoskeletal and Visual Symptoms and Disorders among Computer Users: A Systematic Review. *Journal of Occupational Rehabilitation*. *Journal of Occupational Rehabilitation*, 16(3), pp. 317–350.
- Ching, F. D., 1996. *Ilustrasi Desain Interior*. Jakarta: Erlangga.
- Coccia, M., 2020. Fishbone Diagram for Technological Analysis and Foresight. *Int. J. Foresight and Innovation Policy*, Volume 14, pp. 225–247.
- Cofaigh, O. E., John, A. O. & Lewis, J. O., 1996. *The Climatic Dwelling*. London: James & James Ltd.
- DIALux, 2022. With DIALux We Simplify Lighting Design for you. <https://www.DIALux.com/en-GB/>. Diakses tanggal 1 Agustus 2022 pukul 20.21 WIB.
- Dora, P. E. & Nilasari, P. F., 2011. Pemanfaatan Pencahayaan Alami pada Rumah Tinggal Tipe Townhouse di Surabaya. *Conf. of Workshop Living Green*, pp. 28–36.
- Extech, 2021. *4-in-1 Humidity, Temperature, Airflow, and Light Meter Model 45170*. s.l.:User Manual Guides.
- Francis, C., 2005. Effects of Two Eye Drop Products on Computer Users with Subjective Ocular Discomfort. *Journal of the American Optometric Association*, 76(1), pp. 47–54.
- Hael, M., 2006. Specific Features and Mechanisms of Fatigue in The Ultrahigh-cycle Regime. *International Journal of Fatigue*, 28(11), pp. 1501–1508.
- Hoffman, D. M., 2008. Vergence–accommodation Conflicts Hinder Visual Performance and Cause Visual Fatigue. *Journal of Vision*, 8(3).
- Kamaruddin, M. A., Arief, Y. Z. & Ahmad, M. H., 2016. Energy Analysis of Efficient Lighting System Design for Lecturing Room using DIALux evo 3. *Applied Mechanics and Materials*, Volume 818, pp. 174–178.

- Menteri Ketenagakerjaan, 2018. *Peraturan Menteri Ketenagakerjaan Nomor 5 Tahun 2018 tentang Kesehatan dan Keselamatan Kerja Lingkungan Kerja*. Jakarta: Kementerian Ketenagakerjaan Republik Indonesia.
- Noordiansah, P., 2013. Pengaruh Lingkungan Kerja terhadap Stres Kerja Perawat Studi pada Rumah Sakit Muhammadiyah Jombang. *Doctoral Dissertation*, 1(2).
- Nurrohman, M. L. et al., 2021. Efficient Lighting Design for Multiuse Architecture Studio Classroom using DIALux evo 9. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, Volume 738, pp. 1–10.
- Pahlevi, M. R. & Muliadi, 2022. Analisis dan Desain Tingkat Pencahayaan pada Ruang Perpustakaan Universitas Iskandar Muda. *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, Volume 4, pp. 196–201.
- Philips, 2022. Products Catalogue. <https://www.lighting.philips.co.id/prof>. Diakses tanggal 13 September 2022 pukul 19.30 WIB.
- Prayoga, H. A., 2014. Intensitas Pencahayaan dan Kelainan Refraksi Mata terhadap Kelelahan Mata. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, Volume 2, pp. 131–136.
- Purba, H., 2021. Diagram Tulang Ikan (Fishbone Diagram) Dr. Ishikawa <https://www.hardipurba.com/diagram-fishbone-ishikawa>. Diakses tanggal 4 Desember 2022 pukul 13.20 WIB.
- Putranto, H., Wibawanto, S. & Pradana, D. A., 2021. *Modul Perencanaan Cahaya Instalasi Penerangan Listrik*. Malang: Universitas Negeri Malang.
- Rahmayanti, D. & Artha, A., 2015. Analisis Bahaya Fisik: Hubungan Tingkat Pencahayaan dan Keluhan Mata Pekerja pada Area Perkantoran Health, Safety, and Environment (HSE) PT Pertamina RU VI Balongan. *Jurnal Optimasi Sistem Industri*, 14(1), pp. 71–98.
- Richa, T., 2009. Richa, Talwar. 2009. A Study of Visual and Musculoskeletal Health Disorders among Computer Professionals in NCR Delhi. *Indian J. Community Med.*, 34(4), pp. 326–328.
- Rosenfield, M., 2010. Computer Vision Syndrome: Accommodative and Vergence Facility. *Journal of Behavioral Optometry*, 21(5), pp. 119–122.
- Sakai, T., 2009. Review and Prospects for Current Studies on Very High Cycle Fatigue of Metallic Materials for Machine Structural Use. *Journal of Solid Mechanics and Materials Engineering*, 3(3), pp. 425–439.
- Sangi, O., 2016. *Penentuan Standarisasi Jumlah Titik Lampu pada Ruko Kawasan PT Mega Surya Lestari Manado*. Politeknik Negeri Manado. Laporan Akhir.
- Satwiko, P., 2008. *Fisika Bangunan*. Yogyakarta: Penerbit Andi.

- Setiyowati, E., 2009. *Cahaya dalam Arsitektur Perspektif Islam*. Malang: UIN Malang Press.
- Shiozawa, K., 2006. Subsurface Crack Initiation and Propagation Mechanism in High-strength Steel in a Very High Cycle Fatigue Regime. *International Journal of Fatigue*, 28(11), pp. 1521–1532.
- Sidarta, I., 2008. *Penuntun Ilmu Penyakit Mata*. Jakarta: Balai Penerbit FKUI.
- Suryatman, T. H. & Hermawan, O., 2021. Perbaikan Intensitas Cahaya Pengguna Komputer dengan Pendekatan Ergonomi di PT UJT Indonesia. *Jurnal Teknik*, 10(1), pp. 59–73.
- Szokolay, S. V., 1980. *Environmental Science Handbook for Architects and Builders*. England: The Construction Press, Ltd..
- Wandani, D. T., Sabilu, Y. & Munandar, S., 2017. Hubungan Pencahayaan, Kebisingan, dan Suhu Udara dengan Terjadinya Stres Kerja pada Pekerja di PT Tofico Pelabuhan Perikanan Samudera (PPS) Tahun 2016. *Jurnal Ilmiah Kesehatan Masyarakat*, 2(6), pp. 1–9.
- Widowati, E., 2011. Getaran Benang Lusi terhadap Kelelahan Mata. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 7(1), pp. 1–6.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Arti Simbol dan Satuan

- Arti Simbol

E	=	Tingkat iluminasi
F	=	Fluks luminans
$N_{armatur}$	=	Jumlah unit armatur lampu
$N_{lampu\ hidup}$	=	Jumlah unit lampu hidup
k_p	=	Koefisien pemanfaatan
k_d	=	Koefisien depresiasi
A	=	Luas bidang yang diterangi oleh lampu
L_0	=	Luas bidang potong
p	=	Dimensi panjang
l	=	Dimensi lebar
n	=	Jumlah unit lampu dalam satu armatur
η	=	Jumlah unit lampu malafungsi
P	=	Daya listrik
E_f	=	Nilai efisiensi lampu
R	=	Biaya listrik
R_O	=	Biaya listrik akumulatif pada lampu merata ruang <i>office</i>
R_{QC1}	=	Biaya listrik akumulatif pada lampu merata ruang QC
R_{QC2}	=	Biaya listrik akumulatif pada lampu setempat ruang QC

- Satuan

lx	=	Lux, satuan dari tingkat iluminasi
lm	=	Lumen, satuan dari fluks luminans
m	=	Meter, satuan dari besaran panjang
Cd	=	Candela, satuan dari intensitas cahaya
fc	=	<i>Foot-candles</i> , satuan lain dari tingkat iluminasi
W	=	Watt, satuan dari daya listrik
K	=	Kelvin, satuan dari temperatur warna lampu
kWh	=	<i>Kilowatt-hour</i> , satuan dari energi listrik

Lampiran 2. Perhitungan Luas Bidang yang diterangi

Berikut ini merupakan perhitungan luas bidang yang diterangi oleh masing–masing pencahayaan buatan.

- Ruang *Office*

Diketahui :

$$p = 9,8 \text{ m}$$

$$l = 7,8 \text{ m}$$

Ditanya : A (luas ruangan), m^2

Penyelesaian :

$$A = p \times l \quad (\text{Persamaan 2})$$

$$A = 9,8 \times 7,8 \text{ m}$$

$$A = 76,44 \text{ m}^2$$

Jadi, luas bidang yang diterangi oleh pencahayaan merata ruangan ini seluas $76,44 \text{ m}^2$.

- Ruang *Quality Control*

- Pencahayaan Merata

Diketahui :

$$p = 6,8 \text{ m}$$

$$l = 6,6 \text{ m}$$

$$L_0 = 1,6 \text{ m}^2$$

Ditanya : A (luas ruangan), m^2

Penyelesaian :

$$A = p \times l \quad (\text{Persamaan 2})$$

$$A = (p \times l) - L_0$$

$$A = (9,8 \times 7,8 \text{ m}) - 1,6 \text{ m}^2$$

$$A = 43,28 \text{ m}^2$$

Jadi, luas bidang yang diterangi oleh pencahayaan merata ruangan ini seluas $43,28 \text{ m}^2$.

- Pencahayaan Setempat

Pencahayaan setempat ruangan ini menerangi dua meja pengujian mutu, maka masing-masing meja memiliki dimensi yang berbeda. Simbol p_1 dan l_1 mewakili meja pengujian mutu 1, sementara simbol p_2 dan l_2 mewakili meja pengujian mutu 2.

Diketahui :

$$p_1 = 5 \text{ m}$$

$$l_1 = 0,8 \text{ m}$$

$$p_2 = 3 \text{ m}$$

$$l_2 = 0,8 \text{ m}$$

Ditanya : A (luas meja pengujian mutu), m^2

Penyelesaian :

$$A = p \times l \quad (\text{Persamaan 2})$$

$$A = (p_1 \times l_1) + (p_2 \times l_2)$$

$$A = (5 \times 0,8 \text{ m}) + (3 \times 0,8 \text{ m})$$

$$A = 4 + 2,4 \text{ m}^2$$

$$A = 6,4 \text{ m}^2$$

Jadi, luas bidang total yang diterangi oleh pencahayaan setempat ruangan ini seluas $6,4 \text{ m}^2$.

Lampiran 3. Perhitungan Nilai Iluminasi Eksisting

Berikut perhitungan nilai iluminasi berdasarkan metode lumen. Metode lumen menggunakan perhitungan teoritis nilai fluks luminans yang dipancarkan lampu terhadap luas bidang yang diterangi dengan pertimbangan koefisien pemanfaatan dan koefisien depresiasi.

- Ruang *Office*

Diketahui :

$$\begin{aligned} A &= 76,44 \text{ m}^2 \\ F_l &= 1.600 \text{ lm} \\ N_{armatur} &= 4 \text{ unit} \\ n &= 2 \text{ unit} \\ \eta &= 0 \text{ unit} \\ k_p &= 0,7 \text{ (asumsi perhitungan)} \\ k_d &= 0,8 \end{aligned}$$

Ditanya : $E_{rata-rata}$ (iluminasi ruangan rata-rata), lx

Penyelesaian :

$$N_{armatur} = \frac{F_{total}}{F_l \times n} \quad (\text{Persamaan 4})$$

$$F_{total} = F_l \times N_{armatur} \times n$$

$$F_{total} = F_l \times N_{lampu \text{ hidup}}$$

$$F_{total} = 1.600 \text{ lm} \times ((4 \times 2) - 0 \text{ unit})$$

$$F_{total} = 1.600 \text{ lm} \times 8 \text{ unit}$$

$$F_{total} = 12.800 \text{ lm}$$

$$E_{rata-rata} = \frac{F_{total} \times k_p \times k_d}{A} \quad (\text{Persamaan 1})$$

$$E_{rata-rata} = \frac{12.800 \text{ lm} \times 0,7 \times 0,8}{76,44 \text{ m}^2}$$

$$E_{rata-rata} = \frac{7.168 \text{ lm}}{76,44 \text{ m}^2}$$

$$E_{rata-rata} = 93,77 \approx 94 \text{ lx}$$

Jadi, iluminasi ruangan rata-rata perhitungan pada ruangan ini sebesar 94 lx.

- Ruang *Quality Control*

- Pencahayaan Merata

Diketahui :

$$A = 43,28 \text{ m}^2$$

$$F_l = 1.600 \text{ lm}$$

$$N_{armatur} = 4 \text{ unit}$$

$$n = 2 \text{ unit}$$

$$\eta = 2 \text{ unit}$$

$$k_p = 0,6 \text{ (asumsi perhitungan)}$$

$$k_d = 0,8$$

Ditanya : $E_{rata-rata}$ (iluminasi ruangan rata-rata), lx

Penyelesaian :

$$N_{armatur} = \frac{F_{total}}{F_l \times n} \quad (\text{Persamaan 4})$$

$$F_{total} = F_l \times N_{armatur} \times n$$

$$F_{total} = F_l \times N_{lampu \text{ hidup}}$$

$$F_{total} = 1.600 \text{ lm} \times ((4 \times 2) - 2 \text{ unit})$$

$$F_{total} = 1.600 \text{ lm} \times 6 \text{ unit}$$

$$F_{total} = 9.600 \text{ lm}$$

$$E_{rata-rata} = \frac{F_{total} \times k_p \times k_d}{A} \quad (\text{Persamaan 1})$$

$$E_{rata-rata} = \frac{9.600 \text{ lm} \times 0,6 \times 0,8}{42,28 \text{ m}^2}$$

$$E_{rata-rata} = \frac{7.168 \text{ lm}}{43,28 \text{ m}^2}$$

$$E_{rata-rata} = 106,47 \approx 106 \text{ lx}$$

Jadi, iluminasi ruangan rata-rata perhitungan pada ruangan ini sebesar 106 lx.

- Pencahayaan Setempat

Diketahui :

$$A = 6,4 \text{ m}^2$$

$$F_l = 1.200 \text{ lm}$$

$$N_{armatur} = 9 \text{ unit}$$

$$n = 1 \text{ unit}$$

$$\eta = 0 \text{ unit}$$

$$k_p = 0,6 \text{ (asumsi perhitungan)}$$

$$k_d = 0,8$$

Ditanya : $E_{rata-rata}$ (iluminasi rata-rata meja pengujian mutu), lx

Penyelesaian :

$$N_{armatur} = \frac{F_{total}}{F_l \times n} \quad (\text{Persamaan 4})$$

$$F_{total} = F_l \times N_{armatur} \times n$$

$$F_{total} = F_l \times N_{lampu \text{ hidup}}$$

$$F_{total} = 1.200 \text{ lm} \times ((9 \times 1) - 0 \text{ unit})$$

$$F_{total} = 1.200 \text{ lm} \times 9 \text{ unit}$$

$$F_{total} = 10.800 \text{ lm}$$

$$E_{rata-rata} = \frac{F_{total} \times k_p \times k_d}{A} \quad (\text{Persamaan 1})$$

$$E_{rata-rata} = \frac{10.800 \text{ lm} \times 0,6 \times 0,8}{6,4 \text{ m}^2}$$

$$E_{rata-rata} = \frac{5.184 \text{ lm}}{6,4 \text{ m}^2}$$

$$E_{rata-rata} = 810 \text{ lx}$$

Jadi, iluminasi rata-rata pada meja pengujian mutu sebesar 810 lx.

Lampiran 4. Perhitungan Kebutuhan Lampu Baru

Berikut juga perhitungan kebutuhan lampu menggunakan metode lumen.

- Ruang *Office*

Diketahui :

$$E_{target} = 300 \text{ lx (PERMENAKER No. 5 Tahun 2018)}$$

$$A = 76,44 \text{ m}^2$$

$$F_l = 3.700 \text{ lm}$$

$$k_p = 0,7043 \text{ (trial and error DIALux evo 10.1)}$$

$$k_d = 0,8$$

Ditanya : $N_{armatur}$ (jumlah armatur/titik lampu), titik pemasangan

Penyelesaian :

$$F_{total} = \frac{E_{target} \times A}{k_p \times k_d} \quad (\text{Persamaan 3})$$

$$F_{total} = \frac{300 \text{ lx} \times 76,44 \text{ m}^2}{0,7043 \times 0,8}$$

$$F_{total} = \frac{22.932 \text{ lx.m}^2}{0,5634}$$

$$F_{total} = 40.702,9 \approx 40.703 \text{ lm}$$

$$N_{armatur} = \frac{F_{total}}{F_l \times n} \quad (\text{Persamaan 4})$$

$$N_{armatur} = \frac{40.703 \text{ lx}}{3.700 \text{ lm} \times 1 \text{ unit}}$$

$$N_{armatur} = \frac{40.703 \text{ lx}}{3.700 \text{ lm}}$$

$$N_{armatur} = 11,0008 \approx 11 \text{ titik pemasangan}$$

Jadi, jumlah kebutuhan lampu baru untuk pencahayaan merata ruangan ini sebanyak 11 titik.

- Ruang *Quality Control*

- Pencahayaan Merata

Diketahui :

$$E_{target} = 300 \text{ lx (PERMENAKER No. 5 Tahun 2018)}$$

$$\begin{aligned}
 A &= 43,28 \text{ m}^2 \\
 F_l &= 3.700 \text{ lm} \\
 k_p &= 0,5483 \text{ (trial and error DIALux evo 10.1)} \\
 k_d &= 0,8
 \end{aligned}$$

Ditanya : $N_{armatur}$ (jumlah armatur/titik lampu), titik pemasangan

Penyelesaian :

$$F_{total} = \frac{E_{target} \times A}{k_p \times k_d} \quad (\text{Persamaan 3})$$

$$F_{total} = \frac{300 \text{ lx} \times 43,28 \text{ m}^2}{0,5483 \times 0,8}$$

$$F_{total} = \frac{12.984 \text{ lx.m}^2}{0,4386}$$

$$F_{total} = 29.603,28 \approx 29.603 \text{ lm}$$

$$N_{armatur} = \frac{F_{total}}{F_l \times n} \quad (\text{Persamaan 4})$$

$$N_{armatur} = \frac{29.603 \text{ lx}}{3.700 \text{ lm} \times 1 \text{ unit}}$$

$$N_{armatur} = \frac{29.603 \text{ lx}}{3.700 \text{ lm}}$$

$$N_{armatur} = 8,0008 \approx 8 \text{ titik pemasangan}$$

Jadi, jumlah kebutuhan lampu baru untuk pencahayaan merata ruangan ini sebanyak 8 titik.

- Pencahayaan Setempat

Diketahui :

$$\begin{aligned}
 E_{target} &= 1.000 \text{ lx (PERMENAKER No. 5 Tahun 2018)} \\
 A &= 6,4 \text{ m}^2 \\
 F_l &= 2.500 \text{ lm} \\
 k_p &= 0,64 \text{ (trial and error DIALux evo 10.1)} \\
 k_d &= 0,8
 \end{aligned}$$

Ditanya : $N_{armatur}$ (jumlah armatur/titik lampu), titik pemasangan

Penyelesaian :

$$F_{total} = \frac{E_{target} \times A}{k_p \times k_d} \quad (\text{Persamaan 3})$$

$$F_{total} = \frac{1.000 \text{ lx} \times 6,4 \text{ m}^2}{0,64 \times 0,8}$$

$$F_{total} = \frac{6.400 \text{ lx.m}^2}{0,512}$$

$$F_{total} = 12.500 \text{ lm}$$

$$N_{armatur} = \frac{F_{total}}{F_l \times n} \quad (\text{Persamaan 4})$$

$$N_{armatur} = \frac{12.500 \text{ lx}}{2.500 \text{ lm} \times 1 \text{ unit}}$$

$$N_{armatur} = \frac{12.500 \text{ lx}}{2.500 \text{ lm}}$$

$$N_{armatur} = 5 \text{ titik pemasangan}$$

Jadi, jumlah kebutuhan lampu baru untuk pencahayaan setempat bidang ini sebanyak 5 titik.

Lampiran 5. Perhitungan Kepadatan Daya Lampu Eksisting

Berikut merupakan perhitungan nilai kepadatan daya maksimum pada kondisi eksisting. Nilai ini menunjukkan perbandingan atas cahaya yang dihasilkan terhadap konsumsi daya maksimum.

- Ruang *Office*

Diketahui :

$$A = 76,44 \text{ m}^2$$

$$P_l = 16 \text{ W}$$

$$N_{\text{lampu hidup}} = 8 \text{ unit}$$

Ditanya : $P_{\text{maks.}}$ (kepadatan daya maksimum), W.m^{-2}

Penyelesaian :

$$P_{\text{total}} = P_l \times N_{\text{lampu hidup}} \quad (\text{Persamaan 6})$$

$$P_{\text{total}} = 16 \text{ W} \times 8 \text{ unit}$$

$$P_{\text{total}} = 128 \text{ W}$$

$$P_{\text{maks.}} = \frac{P_{\text{total}}}{A}$$

$$P_{\text{maks.}} = \frac{128 \text{ W}}{76,44 \text{ m}^2}$$

$$P_{\text{maks.}} = 1,67 \text{ W.m}^{-2}$$

Jadi, kepadatan daya maksimum yang dicapai oleh lampu merata eksisting pada ruangan ini sebesar $1,67 \text{ W.m}^{-2}$.

- Ruang *Quality Control*

- Pencahayaan Merata

Diketahui :

$$A = 43,28 \text{ m}^2$$

$$P_l = 16 \text{ W}$$

$$N_{\text{lampu hidup}} = 6 \text{ unit (2 dari 8 unit dalam keadaan malafungsi)}$$

Ditanya : $P_{\text{maks.}}$ (kepadatan daya maksimum), W.m^{-2}

Penyelesaian :

$$P_{total} = P_l \times N_{lampu\ hidup} \quad (\text{Persamaan 6})$$

$$P_{total} = 16 \text{ W} \times 6 \text{ unit}$$

$$P_{total} = 96 \text{ W}$$

$$P_{maks.} = \frac{P_{total}}{A}$$

$$P_{maks.} = \frac{96 \text{ W}}{43,28 \text{ m}^2}$$

$$P_{maks.} = 2,22 \text{ W.m}^{-2}$$

Jadi, kepadatan daya maksimum yang dicapai oleh lampu merata eksisting pada ruangan ini sebesar $2,22 \text{ W.m}^{-2}$.

- Pencahayaan Setempat

Diketahui :

$$A = 6,4 \text{ m}^2$$

$$P_l = 13 \text{ W}$$

$$N_{lampu\ hidup} = 9 \text{ unit}$$

Ditanya : $P_{maks.}$ (kepadatan daya maksimum), W.m^{-2}

Penyelesaian :

$$P_{total} = P_l \times N_{lampu\ hidup} \quad (\text{Persamaan 6})$$

$$P_{total} = 13 \text{ W} \times 9 \text{ unit}$$

$$P_{total} = 117 \text{ W}$$

$$P_{maks.} = \frac{P_{total}}{A}$$

$$P_{maks.} = \frac{117 \text{ W}}{6,4 \text{ m}^2}$$

$$P_{maks.} = 18,28 \text{ W.m}^{-2}$$

Jadi, kepadatan daya maksimum yang dicapai oleh lampu setempat eksisting pada ruangan ini sebesar $18,28 \text{ W.m}^{-2}$.

Lampiran 6. Perhitungan Kepadatan Daya Lampu Baru

Berikut merupakan perhitungan nilai kepadatan daya maksimum pada kondisi optimalisasi. Nilai ini menunjukkan rasio cahaya yang dihasilkan terhadap konsumsi daya.

- Ruang *Office*

Diketahui :

$$A = 76,44 \text{ m}^2$$

$$P_l = 17,6 \text{ W}$$

$$N_{\text{lampu hidup}} = 11 \text{ unit}$$

Ditanya : $P_{\text{maks.}}$ (kepadatan daya maksimum), W.m^{-2}

Penyelesaian :

$$P_{\text{total}} = P_l \times N_{\text{lampu hidup}} \quad (\text{Persamaan 6})$$

$$P_{\text{total}} = 17,6 \text{ W} \times 11 \text{ unit}$$

$$P_{\text{total}} = 193,6 \text{ W}$$

$$P_{\text{maks.}} = \frac{P_{\text{total}}}{A}$$

$$P_{\text{maks.}} = \frac{193,6 \text{ W}}{76,44 \text{ m}^2}$$

$$P_{\text{maks.}} = 2,53 \text{ W.m}^{-2}$$

Jadi, kepadatan daya maksimum yang dicapai oleh lampu merata baru pada ruangan ini sebesar $2,53 \text{ W.m}^{-2}$.

- Ruang *Quality Control*

- Pencahayaan Merata

Diketahui :

$$A = 43,28 \text{ m}^2$$

$$P_l = 17,6 \text{ W}$$

$$N_{\text{lampu hidup}} = 8 \text{ unit}$$

Ditanya : $P_{\text{maks.}}$ (kepadatan daya maksimum), W.m^{-2}

Penyelesaian :

$$P_{total} = P_I \times N_{lampu\ hidup} \quad (\text{Persamaan 6})$$

$$P_{total} = 17,6 \text{ W} \times 8 \text{ unit}$$

$$P_{total} = 140,8 \text{ W}$$

$$P_{maks.} = \frac{P_{total}}{A}$$

$$P_{maks.} = \frac{140,8 \text{ W}}{43,28 \text{ m}^2}$$

$$P_{maks.} = 3,25 \text{ W.m}^{-2}$$

Jadi, kepadatan daya maksimum yang dicapai oleh lampu setempat baru pada ruangan ini sebesar $3,25 \text{ W.m}^{-2}$.

- Pencahayaan Setempat

Diketahui :

$$A = 6,4 \text{ m}^2$$

$$P_I = 11,9 \text{ W}$$

$$N_{lampu\ hidup} = 5 \text{ unit}$$

Ditanya : $P_{maks.}$ (kepadatan daya maksimum), W.m^{-2}

Penyelesaian :

$$P_{total} = P_I \times N_{lampu\ hidup} \quad (\text{Persamaan 6})$$

$$P_{total} = 11,9 \text{ W} \times 5 \text{ unit}$$

$$P_{total} = 59,5 \text{ W}$$

$$P_{maks.} = \frac{P_{total}}{A}$$

$$P_{maks.} = \frac{59,5 \text{ W}}{6,4 \text{ m}^2}$$

$$P_{maks.} = 9,3 \text{ W.m}^{-2}$$

Jadi, kepadatan daya maksimum yang dicapai oleh lampu merata baru pada ruangan ini sebesar $9,3 \text{ W.m}^{-2}$.

Lampiran 7. Perhitungan Konsumsi Energi dan Biaya Listrik Eksisting

- Ruang *Office*

Diketahui :

$$P_l = 16 \text{ W} = 0,016 \text{ kW}$$

$$N_{\text{lampu hidup}} = 8 \text{ unit}$$

$$\text{Jam kerja} = 9 \text{ jam per hari}^{**}$$

$$\text{Hari kerja} = 312 \text{ hari per tahun}^{**}$$

$$\text{Harga listrik} = \text{Rp1.522,28 per kWh}^{**}$$

Catatan: ^{**} *asumsi perhitungan*

Ditanya : a. Konsumsi energi, kWh.tahun⁻¹

b. Biaya listrik, Rp

Penyelesaian :

$$P_{\text{total}} = P_l \times N_{\text{lampu hidup}} \quad (\text{Persamaan 6})$$

$$P_{\text{total}} = 0,016 \text{ kW} \times 8 \text{ unit}$$

$$P_{\text{total}} = 0,128 \text{ kW}$$

$$\text{Total jam kerja} = \text{jam kerja} \times \text{hari kerja}$$

$$\text{Total jam kerja} = 9 \text{ jam.hari}^{-1} \times 312 \text{ hari.tahun}^{-1}$$

$$\text{Total jam kerja} = 2.808 \text{ jam.tahun}^{-1}$$

$$\text{Konsumsi energi} = P_{\text{total}} \times \text{total jam kerja}$$

$$\text{Konsumsi energi} = 0,128 \text{ kW} \times 2.808 \text{ jam.tahun}^{-1}$$

$$\text{Konsumsi energi} = 359,42 \text{ kWh.tahun}^{-1}$$

$$\text{Biaya listrik} = \text{konsumsi energi} \times \text{harga listrik}$$

$$\text{Biaya listrik} = 359,42 \text{ kWh.tahun}^{-1} \times \text{Rp1.522,28 kWh}^{-1}$$

$$\text{Biaya listrik} = \text{Rp547.144,00 tahun}^{-1}$$

Jadi, biaya listrik yang dikeluarkan untuk pencahayaan merata eksisting ruangan ini sebesar Rp547.144,00 per tahun.

- Ruang *Quality Control*

- Pencahayaan Merata

Diketahui :

$$P_l = 16 \text{ W} = 0,016 \text{ kW}$$

$$N_{\text{lampu hidup}} = 6 \text{ unit}$$

$$\text{Jam kerja} = 9 \text{ jam per hari}^{**}$$

$$\text{Hari kerja} = 312 \text{ hari per tahun}^{**}$$

$$\text{Harga listrik} = \text{Rp}1.522,28 \text{ per kWh}^{**}$$

Catatan: ^{**} *asumsi perhitungan*

Ditanya : a. Konsumsi energi, kWh.tahun⁻¹

b. Biaya listrik, Rp

Penyelesaian :

$$P_{\text{total}} = P_l \times N_{\text{lampu hidup}} \quad (\text{Persamaan 6})$$

$$P_{\text{total}} = 0,016 \text{ kW} \times 6 \text{ unit}$$

$$P_{\text{total}} = 0,096 \text{ kW}$$

$$\text{Total jam kerja} = \text{jam kerja} \times \text{hari kerja}$$

$$\text{Total jam kerja} = 9 \text{ jam.hari}^{-1} \times 312 \text{ hari.tahun}^{-1}$$

$$\text{Total jam kerja} = 2.808 \text{ jam.tahun}^{-1}$$

$$\text{Konsumsi energi} = P_{\text{total}} \times \text{total jam kerja}$$

$$\text{Konsumsi energi} = 0,096 \text{ kW} \times 2.808 \text{ jam.tahun}^{-1}$$

$$\text{Konsumsi energi} = 269,57 \text{ kWh.tahun}^{-1}$$

$$\text{Biaya listrik} = \text{konsumsi energi} \times \text{harga listrik}$$

$$\text{Biaya listrik} = 269,57 \text{ kWh.tahun}^{-1} \times \text{Rp}1.522,28 \text{ kWh}^{-1}$$

$$\text{Biaya listrik} = \text{Rp}410.358,00 \text{ tahun}^{-1}$$

Jadi, biaya listrik yang dikeluarkan untuk pencahayaan merata eksisting ruangan ini sebesar Rp410.358,00 per tahun.

- Pencahayaan Setempat

Diketahui :

$$P_l = 13 \text{ W} = 0,013 \text{ kW}$$

$$N_{\text{lampu hidup}} = 9 \text{ unit}$$

$$\text{Jam kerja} = 9 \text{ jam per hari}^{**}$$

$$\text{Hari kerja} = 312 \text{ hari per tahun}^{**}$$

$$\text{Harga listrik} = \text{Rp}1.522,28 \text{ per kWh}^{**}$$

Catatan: ** asumsi perhitungan

- Ditanya : a. Konsumsi energi, kWh.tahun⁻¹
b. Biaya listrik, Rp

Penyelesaian :

$$P_{\text{total}} = P_l \times N_{\text{lampu hidup}} \quad (\text{Persamaan 6})$$

$$P_{\text{total}} = 0,013 \text{ kW} \times 9 \text{ unit}$$

$$P_{\text{total}} = 0,117 \text{ kW}$$

$$\text{Total jam kerja} = \text{jam kerja} \times \text{hari kerja}$$

$$\text{Total jam kerja} = 9 \text{ jam.hari}^{-1} \times 312 \text{ hari.tahun}^{-1}$$

$$\text{Total jam kerja} = 2.808 \text{ jam.tahun}^{-1}$$

$$\text{Konsumsi energi} = P_{\text{total}} \times \text{total jam kerja}$$

$$\text{Konsumsi energi} = 0,117 \text{ kW} \times 2.808 \text{ jam.tahun}^{-1}$$

$$\text{Konsumsi energi} = 328,54 \text{ kWh.tahun}^{-1}$$

$$\text{Biaya listrik} = \text{konsumsi energi} \times \text{harga listrik}$$

$$\text{Biaya listrik} = 328,54 \text{ kWh.tahun}^{-1} \times \text{Rp}1.522,28 \text{ kWh}^{-1}$$

$$\text{Biaya listrik} = \text{Rp}500.124,00 \text{ tahun}^{-1}$$

Jadi, biaya listrik yang dikeluarkan untuk pencahayaan setempat eksisting ruangan ini sebesar Rp500.124,00 per tahun.

Lampiran 8. Perhitungan Konsumsi Energi dan Biaya Listrik Baru

- Ruang *Office*

Diketahui :

$$P_l = 17,6 \text{ W} = 0,0176 \text{ kW}$$

$$N_{\text{lampu hidup}} = 11 \text{ unit}$$

$$\text{Jam kerja} = 9 \text{ jam per hari}^{**}$$

$$\text{Hari kerja} = 312 \text{ hari per tahun}^{**}$$

$$\text{Harga listrik} = \text{Rp}1.522,28 \text{ per kWh}^{**}$$

Catatan: ^{**} *asumsi perhitungan*

Ditanya : a. Konsumsi energi, kWh.tahun⁻¹
b. Biaya listrik, Rp

Penyelesaian :

$$P_{\text{total}} = P_l \times N_{\text{lampu hidup}} \quad (\text{Persamaan 6})$$

$$P_{\text{total}} = 0,0176 \text{ kW} \times 11 \text{ unit}$$

$$P_{\text{total}} = 0,1936 \text{ kW}$$

$$\text{Total jam kerja} = \text{jam kerja} \times \text{hari kerja}$$

$$\text{Total jam kerja} = 9 \text{ jam.hari}^{-1} \times 312 \text{ hari.tahun}^{-1}$$

$$\text{Total jam kerja} = 2.808 \text{ jam.tahun}^{-1}$$

$$\text{Konsumsi energi} = P_{\text{total}} \times \text{total jam kerja}$$

$$\text{Konsumsi energi} = 0,1936 \text{ kW} \times 2.808 \text{ jam.tahun}^{-1}$$

$$\text{Konsumsi energi} = 543,63 \text{ kWh.tahun}^{-1}$$

$$\text{Biaya listrik} = \text{konsumsi energi} \times \text{harga listrik}$$

$$\text{Biaya listrik} = 543,63 \text{ kWh.tahun}^{-1} \times \text{Rp}1.522,28 \text{ kWh}^{-1}$$

$$\text{Biaya listrik} = \text{Rp}827.555,00 \text{ tahun}^{-1}$$

Jadi, biaya listrik yang dikeluarkan untuk pencahayaan merata baru ruangan ini sebesar Rp827.555,00 per tahun.

- Ruang *Quality Control*

- Pencahayaan Merata

Diketahui :

$$P_l = 17,6 \text{ W} = 0,0176 \text{ kW}$$

$$N_{\text{lampu hidup}} = 8 \text{ unit}$$

$$\text{Jam kerja} = 9 \text{ jam per hari}^{**}$$

$$\text{Hari kerja} = 312 \text{ hari per tahun}^{**}$$

$$\text{Harga listrik} = \text{Rp}1.522,28 \text{ per kWh}^{**}$$

Catatan: ^{**} *asumsi perhitungan*

Ditanya : a. Konsumsi energi, kWh.tahun⁻¹

b. Biaya listrik, Rp

Penyelesaian :

$$P_{\text{total}} = P_l \times N_{\text{lampu hidup}} \quad (\text{Persamaan 6})$$

$$P_{\text{total}} = 0,0176 \text{ kW} \times 8 \text{ unit}$$

$$P_{\text{total}} = 0,1408 \text{ kW}$$

$$\text{Total jam kerja} = \text{jam kerja} \times \text{hari kerja}$$

$$\text{Total jam kerja} = 9 \text{ jam.hari}^{-1} \times 312 \text{ hari.tahun}^{-1}$$

$$\text{Total jam kerja} = 2.808 \text{ jam.tahun}^{-1}$$

$$\text{Konsumsi energi} = P_{\text{total}} \times \text{total jam kerja}$$

$$\text{Konsumsi energi} = 0,1408 \text{ kW} \times 2.808 \text{ jam.tahun}^{-1}$$

$$\text{Konsumsi energi} = 395,37 \text{ kWh.tahun}^{-1}$$

$$\text{Biaya listrik} = \text{konsumsi energi} \times \text{harga listrik}$$

$$\text{Biaya listrik} = 395,37 \text{ kWh.tahun}^{-1} \times \text{Rp}1.522,28 \text{ kWh}^{-1}$$

$$\text{Biaya listrik} = \text{Rp}601.858,00 \text{ tahun}^{-1}$$

Jadi, biaya listrik yang dikeluarkan untuk pencahayaan merata baru ruangan ini sebesar Rp601.858,00 per tahun.

- Pencahayaan Setempat

Diketahui :

$$P_1 = 11,9 \text{ W} = 0,0119 \text{ kW}$$

$$N_{\text{lampu hidup}} = 5 \text{ unit}$$

$$\text{Jam kerja} = 9 \text{ jam per hari}^{**}$$

$$\text{Hari kerja} = 312 \text{ hari per tahun}^{**}$$

$$\text{Harga listrik} = \text{Rp}1.522,28 \text{ per kWh}^{**}$$

Catatan: ** asumsi perhitungan

- Ditanya : a. Konsumsi energi, kWh.tahun⁻¹
b. Biaya listrik, Rp

Penyelesaian :

$$P_{\text{total}} = P_1 \times N_{\text{lampu hidup}} \quad (\text{Persamaan 6})$$

$$P_{\text{total}} = 0,0119 \text{ kW} \times 9 \text{ unit}$$

$$P_{\text{total}} = 0,0595 \text{ kW}$$

$$\text{Total jam kerja} = \text{jam kerja} \times \text{hari kerja}$$

$$\text{Total jam kerja} = 9 \text{ jam.hari}^{-1} \times 312 \text{ hari.tahun}^{-1}$$

$$\text{Total jam kerja} = 2.808 \text{ jam.tahun}^{-1}$$

$$\text{Konsumsi energi} = P_{\text{total}} \times \text{total jam kerja}$$

$$\text{Konsumsi energi} = 0,0595 \text{ kW} \times 2.808 \text{ jam.tahun}^{-1}$$

$$\text{Konsumsi energi} = 167,08 \text{ kWh.tahun}^{-1}$$

$$\text{Biaya listrik} = \text{konsumsi energi} \times \text{harga listrik}$$

$$\text{Biaya listrik} = 167,08 \text{ kWh.tahun}^{-1} \times \text{Rp}1.522,28 \text{ kWh}^{-1}$$

$$\text{Biaya listrik} = \text{Rp}254.336,00 \text{ tahun}^{-1}$$

Jadi, biaya listrik yang diperlukan untuk pencahayaan setempat baru ruangan ini sebesar Rp254.336,00 per tahun.

Lampiran 9. Perhitungan Persentase Kenaikan Efisiensi Lampu Baru

Nilai fluks luminans dan daya pada satu unit lampu eksisting ditulis dengan F_1 dan P_1 , sementara fluks luminans dan daya pada satu unit lampu baru ditulis dengan F_2 dan P_2 . Ef_0 adalah nilai efisiensi lampu eksisting dan Ef_1 adalah nilai efisiensi lampu baru.

- Lampu Merata

Diketahui :

$$F_1 = 1.600 \text{ lm}$$

$$F_2 = 3.700 \text{ lm}$$

$$P_1 = 16 \text{ W}$$

$$P_2 = 17,6 \text{ W}$$

Ditanya : selisih kenaikan efisiensi lampu baru, %

Penyelesaian :

$$Ef_0 = \frac{F_1}{P_1}$$

$$Ef_0 = \frac{1.600 \text{ lm}}{16 \text{ W}}$$

$$Ef_0 = 100 \text{ lm.W}^{-1}$$

$$Ef_1 = \frac{F_2}{P_2}$$

$$Ef_1 = \frac{3.700 \text{ lm}}{17,6 \text{ W}}$$

$$Ef_1 = 210,23 \text{ lm.W}^{-1}$$

$$\text{Selisih Kenaikan} = \frac{Ef_1 - Ef_0}{Ef_1} \times 100\%$$

$$\text{Selisih Kenaikan} = \frac{210,23 \text{ lm.W}^{-1} - 100 \text{ lm.W}^{-1}}{210,23 \text{ lm.W}^{-1}} \times 100\%$$

$$\text{Selisih Kenaikan} = \frac{110,23 \text{ lm.W}^{-1}}{210,23 \text{ lm.W}^{-1}} \times 100\%$$

$$\text{Selisih Kenaikan} = 0,5238 \times 100\%$$

$$\text{Selisih Kenaikan} = 52,38\%$$

Jadi, lampu merata baru lebih hemat energi sebesar 52,38% daripada lampu merata eksisting.

- Lampu Setempat

Diketahui :

$$F_1 = 1.300 \text{ lm}$$

$$F_2 = 2.500 \text{ lm}$$

$$P_1 = 13 \text{ W}$$

$$P_2 = 11,9 \text{ W}$$

Ditanya : selisih kenaikan efisiensi lampu baru

Penyelesaian :

$$Ef_0 = \frac{F_1}{P_1}$$

$$Ef_0 = \frac{1.300 \text{ lm}}{13 \text{ W}}$$

$$Ef_0 = 100 \text{ lm.W}^{-1}$$

$$Ef_1 = \frac{F_2}{P_2}$$

$$Ef_1 = \frac{2.500 \text{ lm}}{11,9 \text{ W}}$$

$$Ef_1 = 210,08 \text{ lm.W}^{-1}$$

$$\text{Selisih Kenaikan} = \frac{Ef_1 - Ef_0}{Ef_1} \times 100\%$$

$$\text{Selisih Kenaikan} = \frac{210,08 \text{ lm.W}^{-1} - 100 \text{ lm.W}^{-1}}{210,08 \text{ lm.W}^{-1}} \times 100\%$$

$$\text{Selisih Kenaikan} = \frac{110,08 \text{ lm.W}^{-1}}{210,08 \text{ lm.W}^{-1}} \times 100\%$$

$$\text{Selisih Kenaikan} = 0,5240 \times 100\%$$

$$\text{Selisih Kenaikan} = 52,40\%$$

Jadi, lampu setempat baru lebih hemat energi sebesar 52,40% daripada lampu setempat eksisting.

Lampiran 10. Perhitungan Nilai Simpangan Iluminasi Hasil Optimalisasi

- Ruang *Office*

Diketahui : Nilai iluminasi optimalisasi rata-rata sebagai berikut.

Titik Ukur	<i>E_{optimalisasi}</i> (lx)	
	<i>E₀</i>	<i>E₁</i>
A1	113	341
A2	173	416
A3	194	432
A4	305	555
A5	256	498
A6	216	438
A7	130	356
A8	129	395
A9	201	456
A10	253	527
A11	336	592
A12	260	525
A13	205	459
A14	134	387
A15	94	356
A16	91	327

Sumber: Hasil DIALux evo 10.1 (2022)

Ditanya : persentase simpangan titik A1, ..., dan A16 (%)

Penyelesaian :

$$\% \text{ Simpangan} = \frac{E_1 - E_0}{E_1} \times 100\%$$

- Titik A1

$$\% \text{ Simpangan} = \frac{341 - 113 \text{ lx}}{341 \text{ lx}} \times 100\% = 66,86\% \approx 67\%$$

- Titik A2

$$\% \text{ Simpangan} = \frac{416 - 173 \text{ lx}}{416 \text{ lx}} \times 100\% = 58,41\% \approx 58\%$$

- Titik A3

$$\% \text{ Simpangan} = \frac{432 - 194 \text{ lx}}{432 \text{ lx}} \times 100\% = 55,09\% \approx 55\%$$

- Titik A4

$$\% \text{ Simpangan} = \frac{555 - 305 \text{ lx}}{555 \text{ lx}} \times 100\% = 45,05\% \approx 45\%$$

- Titik A5

$$\% \text{ Simpangan} = \frac{498 - 256 \text{ lx}}{498 \text{ lx}} \times 100\% = 48,59\% \approx 49\%$$

- Titik A6

$$\% \text{ Simpangan} = \frac{438 - 216 \text{ lx}}{438 \text{ lx}} \times 100\% = 50,68\% \approx 51\%$$

- Titik A7

$$\% \text{ Simpangan} = \frac{356 - 130 \text{ lx}}{356 \text{ lx}} \times 100\% = 63,48\% \approx 63\%$$

- Titik A8

$$\% \text{ Simpangan} = \frac{395 - 129 \text{ lx}}{395 \text{ lx}} \times 100\% = 67,34\% \approx 67\%$$

- Titik A9

$$\% \text{ Simpangan} = \frac{456 - 201 \text{ lx}}{456 \text{ lx}} \times 100\% = 55,92\% \approx 56\%$$

- Titik A10

$$\% \text{ Simpangan} = \frac{527 - 253 \text{ lx}}{527 \text{ lx}} \times 100\% = 51,99\% \approx 52\%$$

- Titik A11

$$\% \text{ Simpangan} = \frac{592 - 336 \text{ lx}}{592 \text{ lx}} \times 100\% = 43,24\% \approx 43\%$$

- Titik A12

$$\% \text{ Simpangan} = \frac{525 - 260 \text{ lx}}{525 \text{ lx}} \times 100\% = 50,48\% \approx 50\%$$

- Titik A13

$$\% \text{ Simpangan} = \frac{459 - 205 \text{ lx}}{459 \text{ lx}} \times 100\% = 55,34\% \approx 55\%$$

- Titik A14

$$\% \text{ Simpangan} = \frac{387 - 134 \text{ lx}}{387 \text{ lx}} \times 100\% = 65,37\% \approx 65\%$$

- Titik A15

$$\% \text{ Simpangan} = \frac{356 - 94 \text{ lx}}{356 \text{ lx}} \times 100\% = 73,60\% \approx 74\%$$

- Titik A16

$$\% \text{ Simpangan} = \frac{327 - 91 \text{ lx}}{327 \text{ lx}} \times 100\% = 72,17\% \approx 72\%$$

- Ruang *Quality Control*

Diketahui : Nilai iluminasi optimalisasi rata-rata sebagai berikut.

Titik Ukur	<i>E_{optimalisasi} (lx)</i>	
	<i>E₀</i>	<i>E₁</i>
B1	68	330
B2	90	378
B3	87	328
B4	142	348
B5	974	1.272
B6	1.139	1.151
B7	1.044	1.111
B8	587	1.211
B9	619	1.214
B10	293	1.305

Sumber: Hasil DIALux evo 10.1 (2022)

Ditanya : persentase simpangan titik B1, ..., dan B10 (%)

Penyelesaian :

$$\% \text{ Simpangan} = \frac{E_1 - E_0}{E_1} \times 100\%$$

- ⁸³ Titik B1

$$\% \text{ Simpangan} = \frac{330 - 68 \text{ lx}}{330 \text{ lx}} \times 100\% = 79,39\% \approx 79\%$$

- Titik B2

$$\% \text{ Simpangan} = \frac{378 - 90 \text{ lx}}{378 \text{ lx}} \times 100\% = 76,19\% \approx 76\%$$

- Titik B3

$$\% \text{ Simpangan} = \frac{328 - 87 \text{ lx}}{328 \text{ lx}} \times 100\% = 73,48\% \approx 73\%$$

- Titik B4

$$\% \text{ Simpangan} = \frac{348 - 142 \text{ lx}}{348 \text{ lx}} \times 100\% = 59,20\% \approx 59\%$$

- Titik B5

$$\% \text{ Simpangan} = \frac{1.272 - 974 \text{ lx}}{1.272 \text{ lx}} \times 100\% = 23,43\% \approx 23\%$$

- Titik B6

$$\% \text{ Simpangan} = \frac{1.151 - 1.139 \text{ lx}}{1.151 \text{ lx}} \times 100\% = 1,04\% \approx 1\%$$

- Titik B7

$$\% \text{ Simpangan} = \frac{1.111 - 1.040 \text{ lx}}{1.111 \text{ lx}} \times 100\% = 6,39\% \approx 6\%$$

- Titik B8

$$\% \text{ Simpangan} = \frac{1.211 - 587 \text{ lx}}{1.211 \text{ lx}} \times 100\% = 51,53\% \approx 52\%$$

- Titik B9

$$\% \text{ Simpangan} = \frac{1.214 - 619 \text{ lx}}{1.214 \text{ lx}} \times 100\% = 49,01\% \approx 49\%$$

- Titik B10

$$\% \text{ Simpangan} = \frac{1.305 - 293 \text{ lx}}{1.305 \text{ lx}} \times 100\% = 77,55\% \approx 78\%$$

Lampiran 11. Perhitungan Kenaikan Biaya Listrik Setelah Optimalisasi

Simbol R_{O0} digunakan untuk biaya pencahayaan merata ruangan *office* pada kondisi eksisting, begitu juga R_{QC10} untuk biaya pencahayaan merata ruangan *quality control*, dan R_{QC20} biaya pencahayaan setempat meja pengujian mutu ruangan *quality control*. Sementara R_{O1} digunakan untuk biaya pencahayaan merata ruangan *office* pada kondisi optimalisasi, R_{QC11} untuk biaya pencahayaan merata ruangan *quality control*, dan R_{QC21} biaya pencahayaan setempat meja pengujian mutu ruangan *quality control*.

Diketahui :

$$R_{O0} = \text{Rp}547.144,00$$

$$R_{QC10} = \text{Rp}410.358,00$$

$$R_{QC20} = \text{Rp}500.124,00$$

$$R_{O1} = \text{Rp}827.555,00$$

$$R_{QC11} = \text{Rp}601.858,00$$

$$R_{QC21} = \text{Rp}254.336,00$$

Ditanya : persentase simpangan sebelum dan setelah optimalisasi (%)

Penyelesaian :

$$R_{total0} = R_{O0} + R_{QC0}$$

$$R_{total0} = R_{O0} + (R_{QC10} + R_{QC20})$$

$$R_{total0} = \text{Rp}547.144,00 + (\text{Rp}410.358,00 + \text{Rp}500.124,00)$$

$$R_{total0} = \text{Rp}547.144,00 + \text{Rp}910.482,00$$

$$R_{total0} = \text{Rp}1.457.626,00$$

Besar biaya listrik total kedua ruangan ini pada kondisi eksisting sebesar Rp1.457.626,00.

$$R_{total1} = R_{O1} + R_{QC1}$$

$$R_{total1} = R_{O1} + (R_{QC11} + R_{QC21})$$

$$R_{total1} = \text{Rp}827.555,00 + (\text{Rp}601.858,00 + \text{Rp}254.336,00)$$

$$R_{total1} = \text{Rp}827.555,00 + \text{Rp}856.194,00$$

$$R_{total1} = \text{Rp}1.683.749,00$$

Sedangkan besar biaya listrik total kedua ruangan ini pada kondisi optimalisasi sebesar Rp1.683.749,00.

$$\% = \frac{R_{total\ 1} - R_{total\ 0}}{R_{total\ 1}} \times 100\%$$

$$\% = \frac{Rp1.683.749,00 - Rp1.457.626,00}{Rp1.683.749,00} \times 100\% = 13,43\% \approx 14\%$$

Jadi, biaya listrik total yang dikeluarkan untuk kedua ruangan ini pasca optimalisasi meningkat sebesar 14% dari biaya kondisi eksisting.

Lampiran 12. Spesifikasi Alat Ukur *Environmental Meter*

Specifications

Range Specifications

Measurement	Range	Resolution	Accuracy
MPH (Miles per hour)	0.9 to 67.0MPH	0.1MPH	$\leq 3937 \text{ ft/min: } \pm 3\% \text{ F.S.}$ $> 3937 \text{ ft/min: } \pm 4\% \text{ F.S.}$
km/hr (kilometers per hour)	1.4 to 108.0 km/h	0.1km/h	
Knots (nautical miles per hour)	0.8 to 58.3 knots	0.1knots	
m/sec (meters per second)	0.4 to 30.0 m/s	0.1 m/s	
ft/min (feet per minute)	80 to 5910 ft/min	1ft/min	
Temperature/Thermistor	32 to 122°F (-0 to 50°C)	0.1°F/C	$\pm 2.5^\circ\text{F} (\pm 1.2^\circ\text{C})$
Temperature /Thermocouple	-148 to 2372°F	0.1°F	$\pm (1\% + 2^\circ\text{F})$
	-100 to 1300°C	0.1°C	$\pm (1\% + 1^\circ\text{C})$
Relative Humidity	10.0 to 95.0%	0.1%	$\pm 4\% \text{ RH (from 10\% to 70\%RH)}$ $\pm 4\% \text{ rdg} + 1.2\% \text{ RH } (> 70\% \text{ RH})$
Light (Auto Ranging)	0 to 2,200 Lux	1 Lux	$\pm 5\% \text{ rdg} + 8 \text{ digits}$
	1,800 to 20,000 Lux	10 Lux	
	0 to 204.0 Fc	0.1 Fc	
	170 to 1,860 Fc	1 Fc	

General Specifications

Display	4 digit (9999 count) Dual Display LCD
Sensors	Thin film capacitance humidity sensor
Min/Max	Min/Max recalls the highest/lowest reading
Data Hold	Data Hold freezes the display
Operating conditions	0 to 50°C (32 to 122°F) / < 80% RH
Power supply	9 Volt Battery
Dimensions / Weight	Instrument: 156 x 60 x 33mm(6.14 x 2.36 x 1.29") Vane: 24mm (1") diameter / 160 g (5.7 oz)

Lampiran 13. Visualisasi 3D pada Bangunan

Berikut merupakan visualisasi pencahayaan bangunan secara 3D.

- Kondisi pencahayaan eksisting



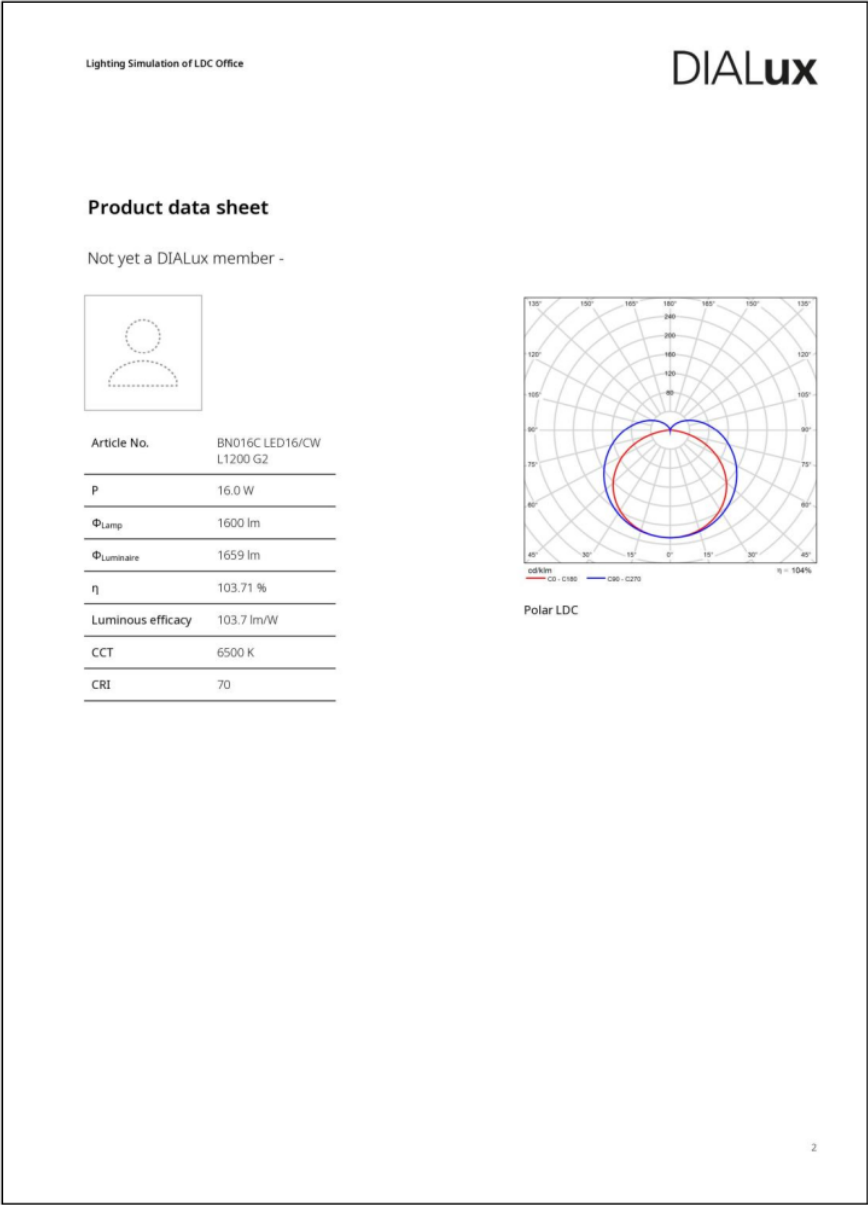
Sumber: Hasil DIALux evo 10.1 (2022)

- Kondisi pencahayaan optimalisasi



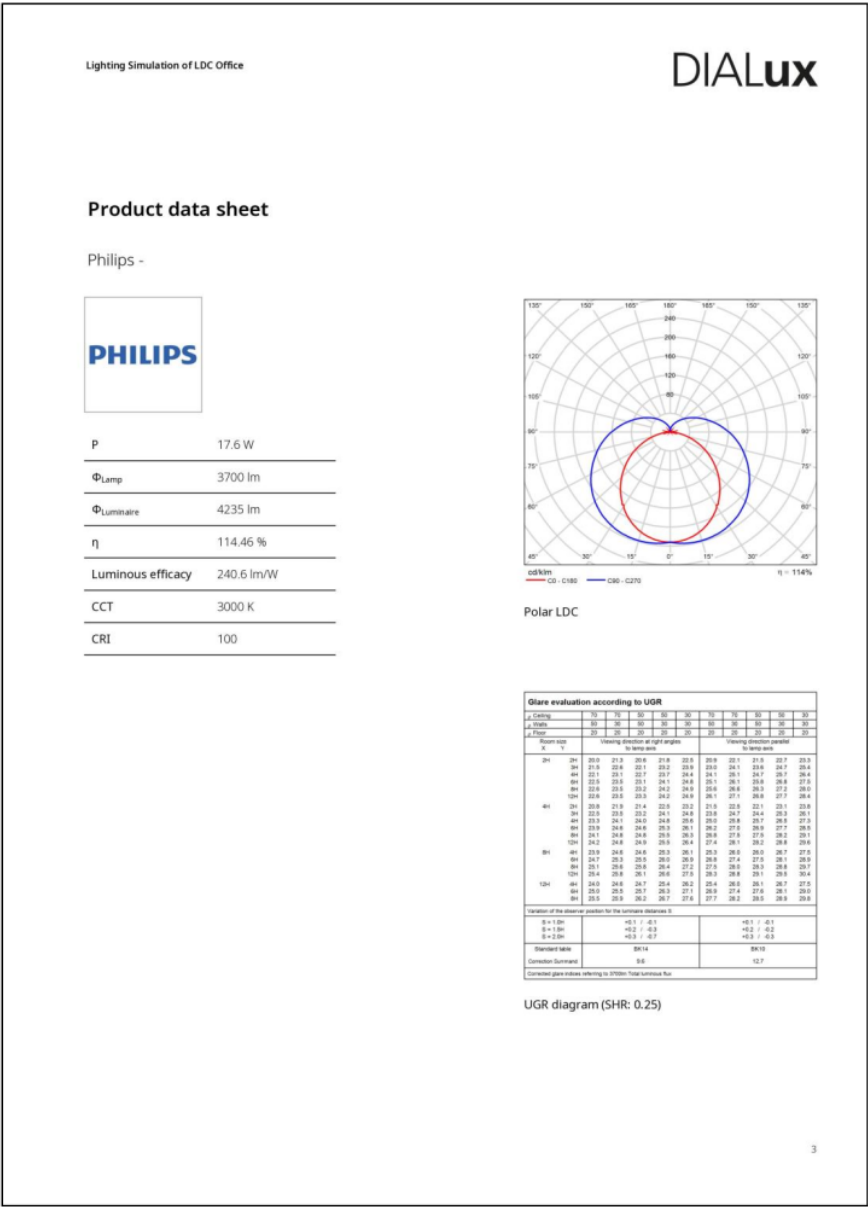
Sumber: Hasil DIALux evo 10.1 (2022)

Lampiran 14. Spesifikasi Lampu Merata Eksisting

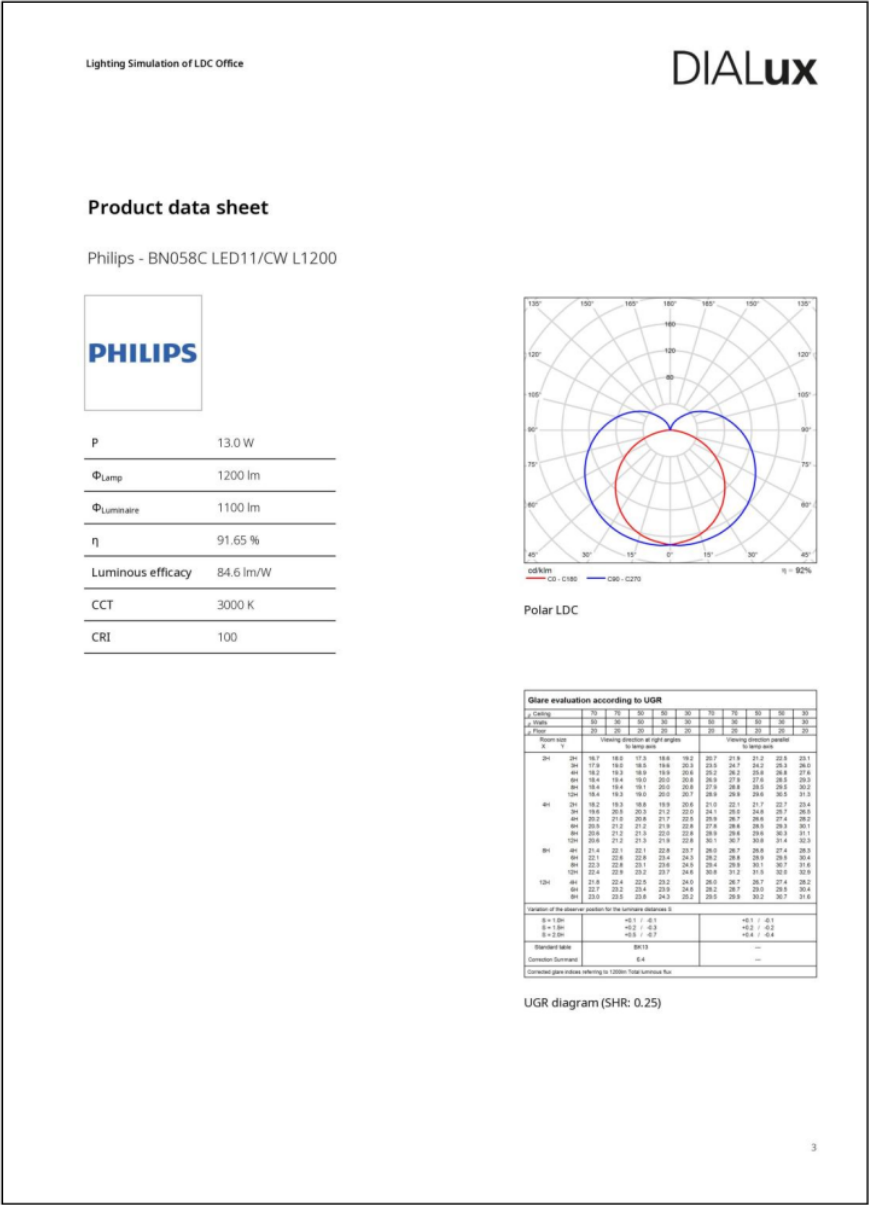


Sumber: www.lighting.philips.co.id dan diolah menggunakan DIALux evo 10.1 (2022)

Lampiran 15. Spesifikasi Lampu Merata Baru

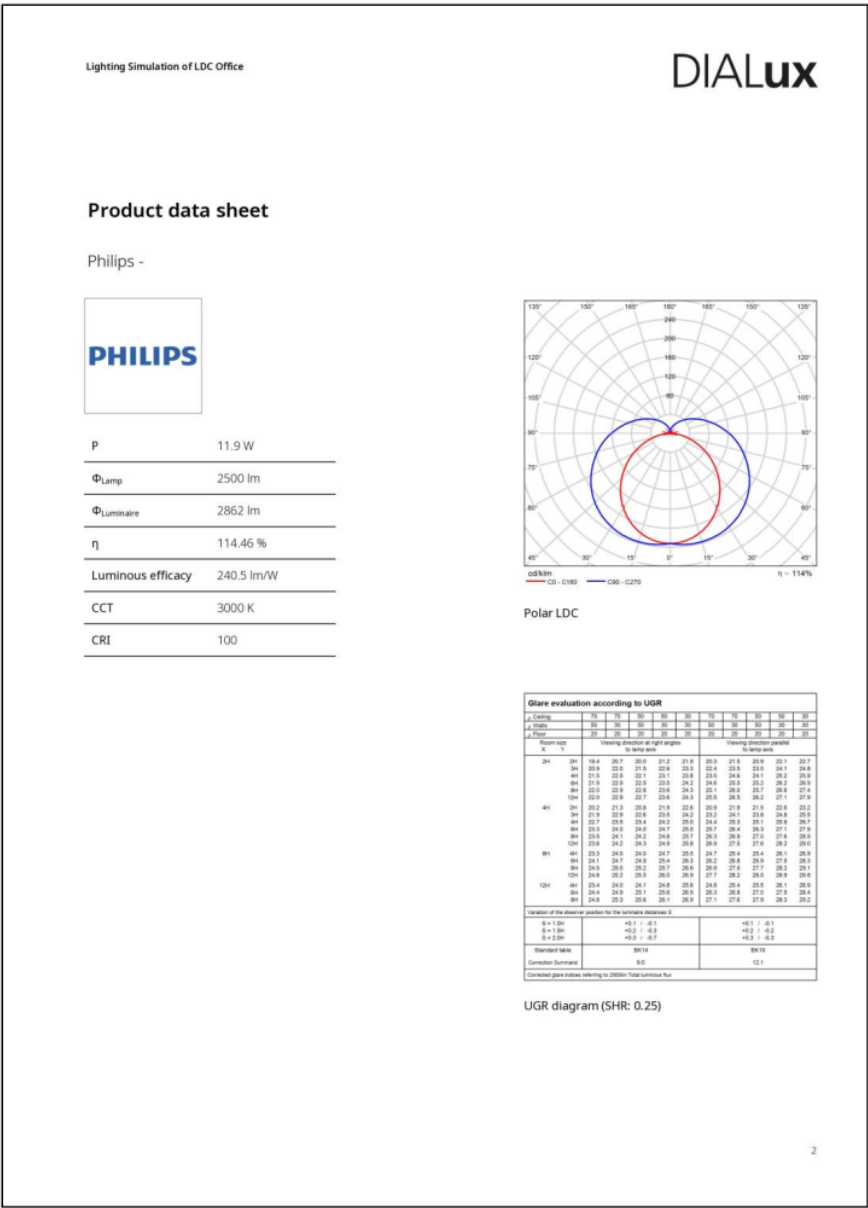


Lampiran 16. Spesifikasi Lampu Setempat Eksisting



Sumber: www.lighting.philips.co.id dan diolah menggunakan DIALux evo 10.1 (2022)

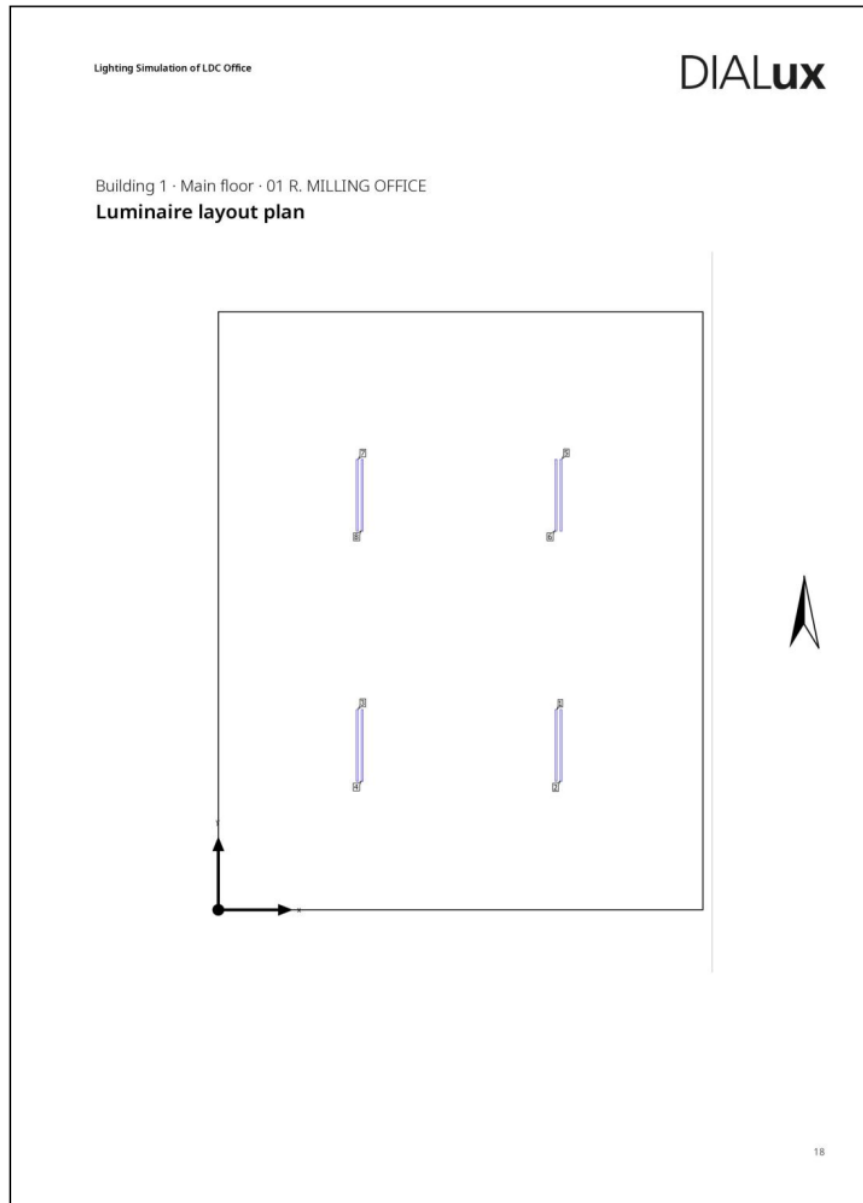
Lampiran 17. Spesifikasi Lampu Setempat Baru



Sumber: www.lighting.philips.co.id yang diolah menggunakan DIALux evo 10.1 (2022)

Lampiran 18. *Layout Lampu Eksisting Ruang Office*

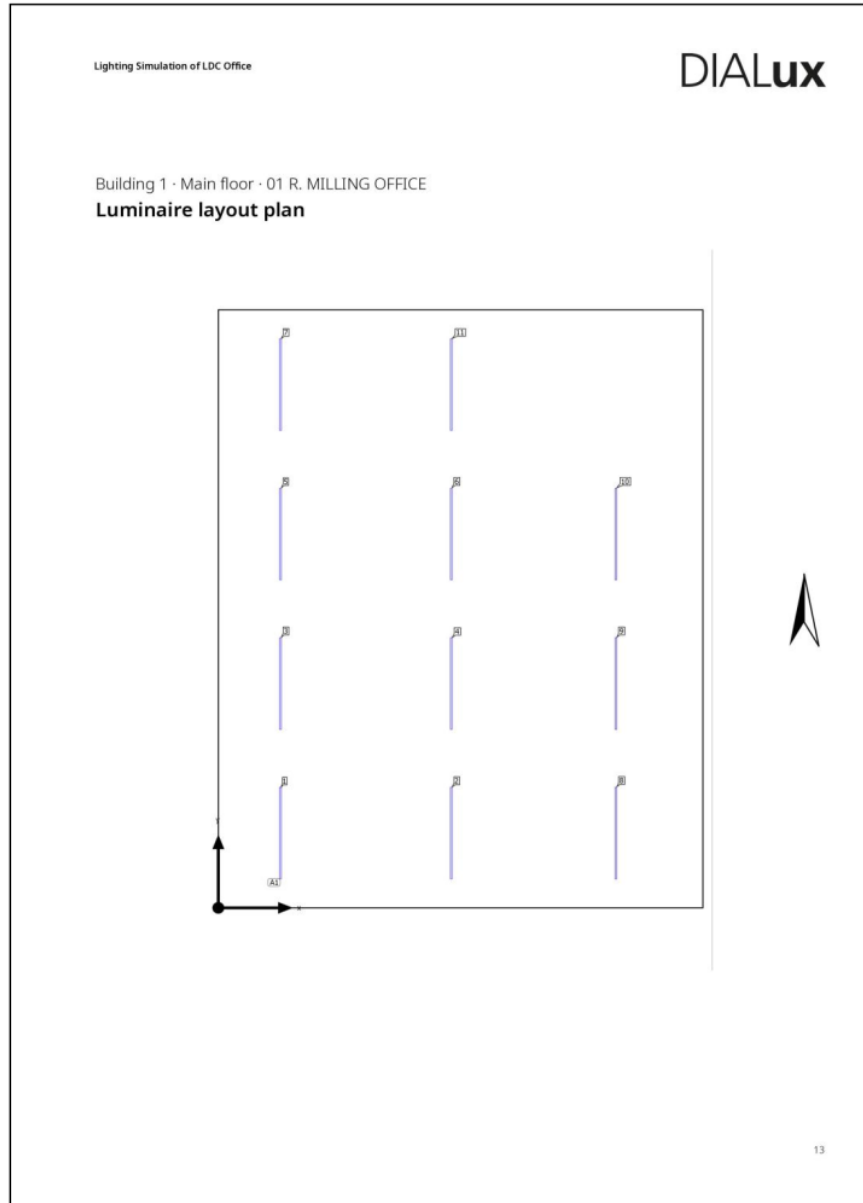
Pada ruangan ini terpasang lampu merata eksisting sebanyak delapan unit dalam keadaan semua menyala.



Sumber: Hasil DIALux evo 10.1 (2022)

Lampiran 19. *Layout Lampu Baru Ruang Office*

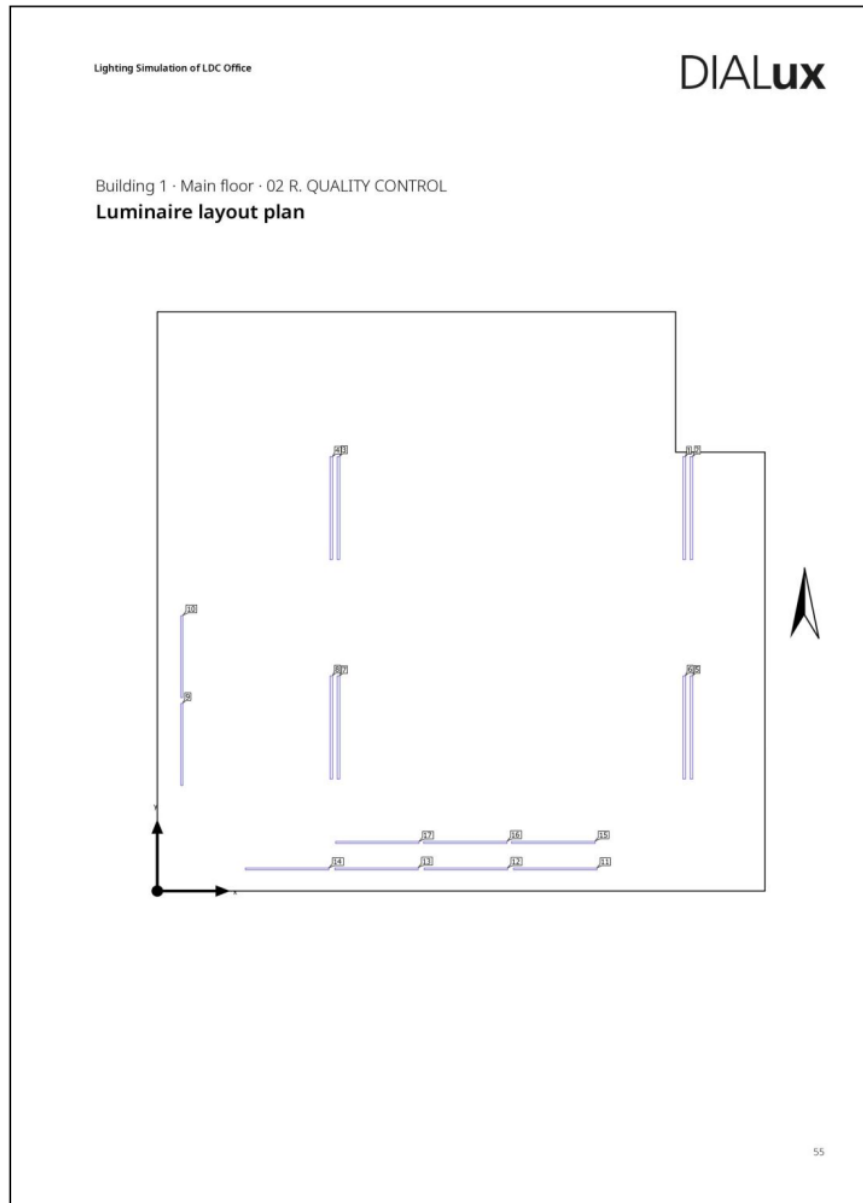
Pada simulasi pencahayaan optimalisasi ruangan ini, sebanyak 11 unit lampu merata baru yang dipasang.



Sumber: Hasil DIALux evo 10.1 (2022)

Lampiran 20. *Layout Lampu Eksisting Ruang Quality Control*

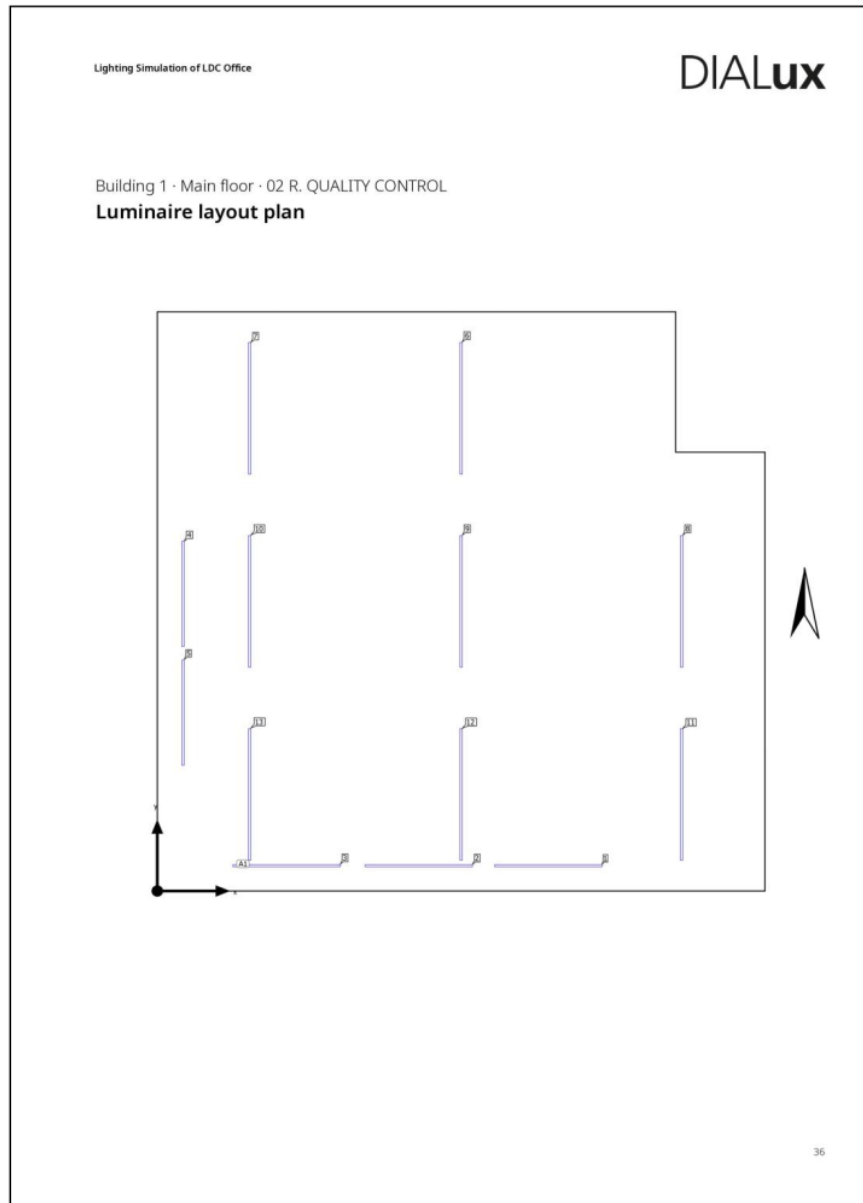
Pada ruangan ini terpasang lampu merata eksisting sebanyak delapan unit, namun hanya enam unit yang menyala, serta terpasang sembilan lampu setempat eksisting.



Sumber: Hasil DIALux evo 10.1 (2022)

Lampiran 21. *Layout Lampu Baru Ruang Quality Control*

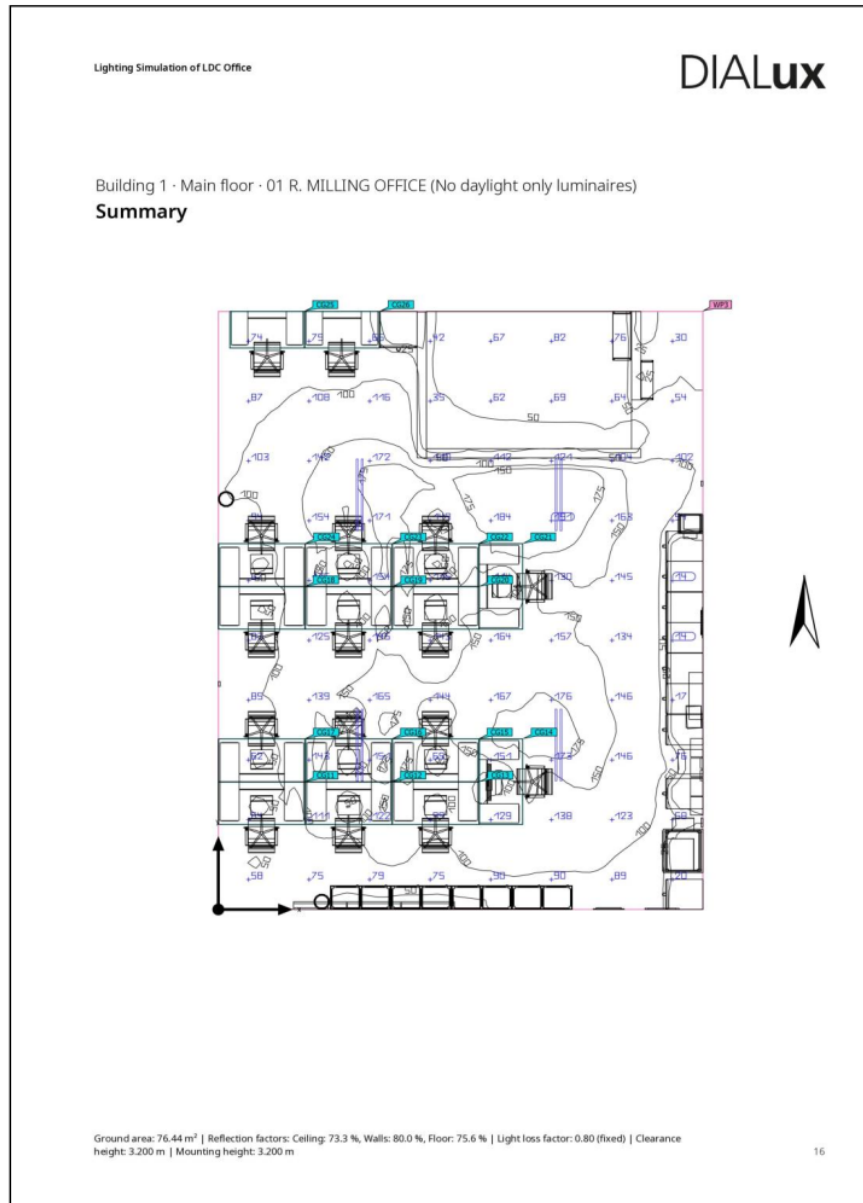
Pada simulasi pencahayaan optimalisasi ruangan ini, sebanyak 11 unit lampu merata baru dan lima unit lampu setempat baru yang dipasang.



Sumber: Hasil DIALux evo 10.1 (2022)

Lampiran 22. Artificial Isolines pada Simulasi Eksisting Ruang Office

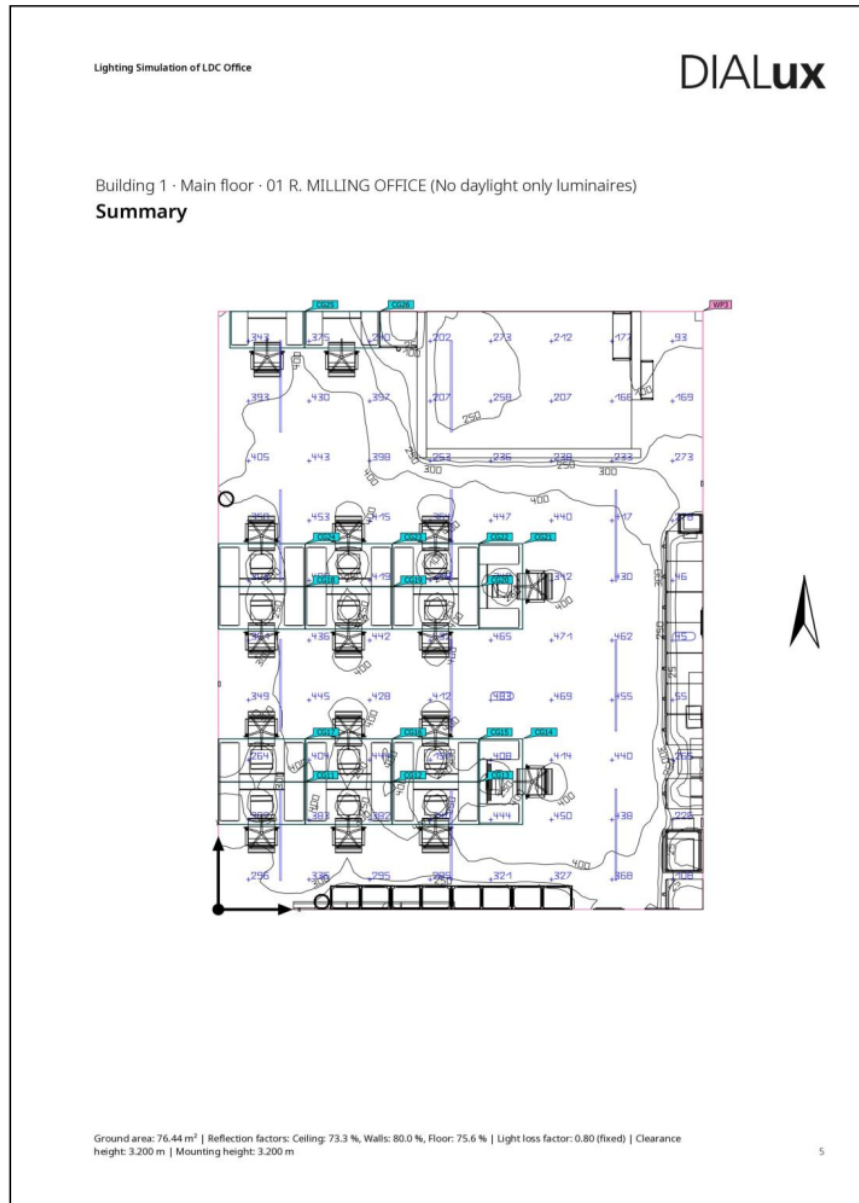
Berikut kontur garis penyebaran cahaya oleh lampu eksisting (*artificial*)



Sumber: Hasil DIALux evo 10.1 (2022)

Lampiran 23. *Artificial Isolines* pada Simulasi Optimalisasi Ruang Office

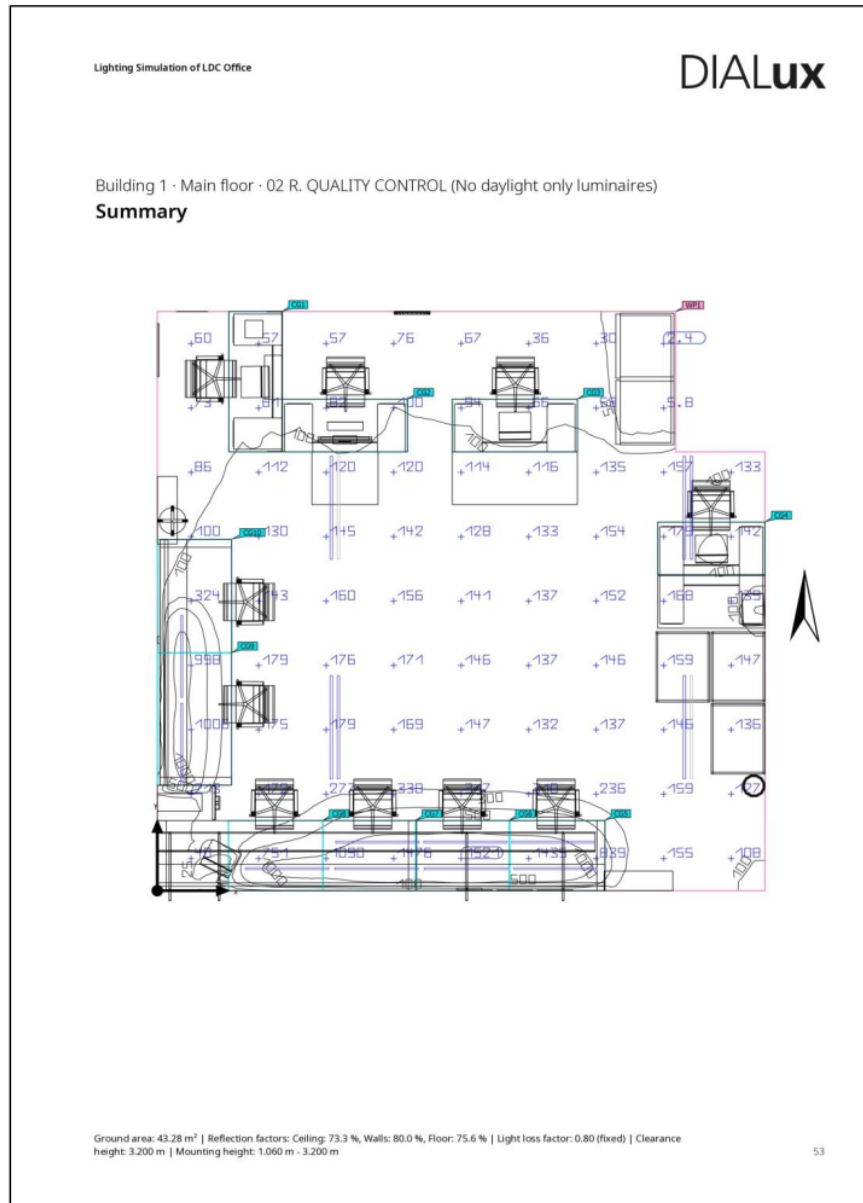
Berikut kontur garis penyebaran cahaya oleh lampu baru (*artificial*)



Sumber: Hasil DIALux evo 10.1 (2022)

Lampiran 24. Artificial Isolines pada Simulasi Eksisting Ruang Quality Control

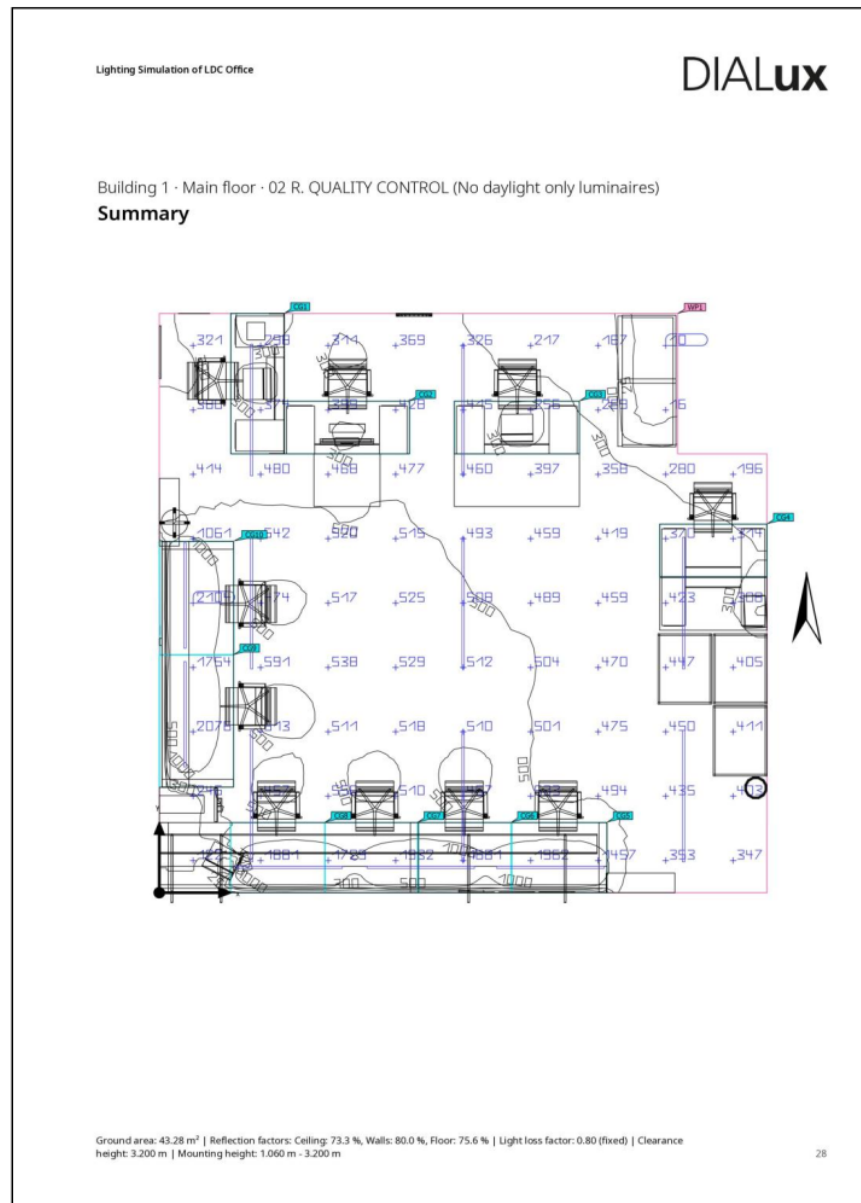
Berikut kontur garis penyebaran cahaya oleh lampu eksisting (*artificial*)



Sumber: Hasil DIALux evo 10.1 (2022)

Lampiran 25. *Artificial Isolines* pada Simulasi Optimalisasi *Quality Control*

Berikut kontur garis penyebaran cahaya oleh lampu baru (*artificial*)

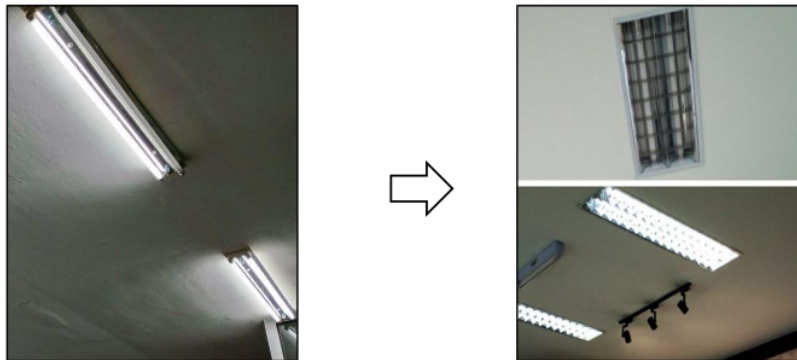


Sumber: Hasil DIALux evo 10.1 (2022)

Lampiran 26. Usulan Perbaikan Lainnya

- Usulan penggantian armatur

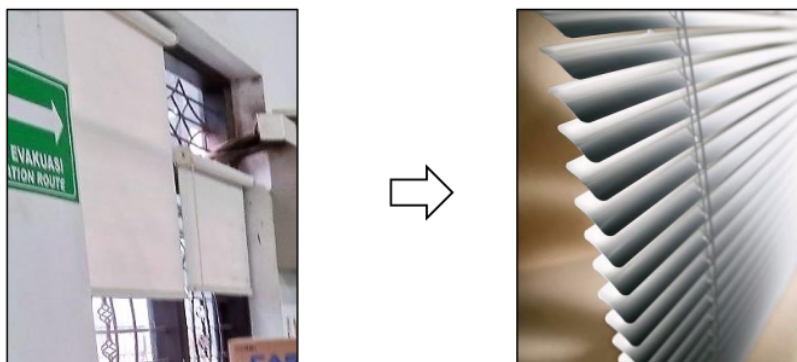
Adapun penggantian armatur eksisting pada pencahayaan merata kedua ruangan dari tipe *v-shape* (kiri) menjadi tipe berkisi (kanan) atas rekomendasi SNI 03-6575-2001.



Sumber: Dokumentasi penelitian (2022)

- Usulan penggantian tirai jendela

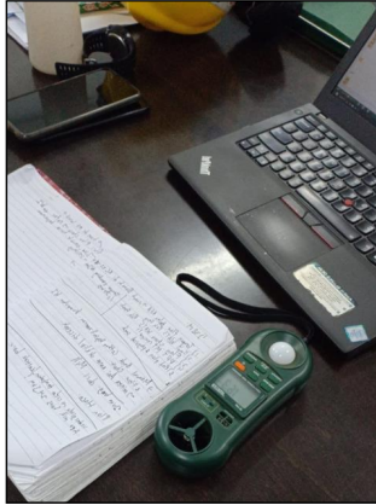
Penggantian tirai jendela eksisting dari tipe *roller blind* (kiri) menjadi tipe *horizontal blind* (kanan) disarankan sendiri oleh penulis mengingat masih terbatasnya rujukan atau penelitian yang relevan, sehingga perlu dilakukan validasi terkait usulan ini.



Sumber: Dokumentasi penelitian (2022)

Lampiran 27. Dokumentasi Pengukuran

- Pengukuran iluminasi pada meja kantor



Sumber: Dokumentasi penelitian (2022)

- Pengukuran iluminasi pada meja pengujian mutu



Sumber: Dokumentasi penelitian (2022)

ORIGINALITY REPORT

17%

SIMILARITY INDEX

16%

INTERNET SOURCES

4%

PUBLICATIONS

7%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1

dspace.uui.ac.id

Internet Source

1%

2

www.slideshare.net

Internet Source

1%

3

repository.its.ac.id

Internet Source

1%

4

media.neliti.com

Internet Source

1%

5

eprints.uny.ac.id

Internet Source

<1%

6

repository.usu.ac.id

Internet Source

<1%

7

www.scribd.com

Internet Source

<1%

8

adoc.pub

Internet Source

<1%

9

text-id.123dok.com

Internet Source

<1%

10	Submitted to Universitas Airlangga Student Paper	<1 %
11	repository.polinela.ac.id Internet Source	<1 %
12	docplayer.info Internet Source	<1 %
13	idec.ft.uns.ac.id Internet Source	<1 %
14	banten.tribunnews.com Internet Source	<1 %
15	id.123dok.com Internet Source	<1 %
16	lib.unnes.ac.id Internet Source	<1 %
17	123dok.com Internet Source	<1 %
18	repository.unair.ac.id Internet Source	<1 %
19	core.ac.uk Internet Source	<1 %
20	repository.pertanian.go.id Internet Source	<1 %
21	eprints.undip.ac.id Internet Source	<1 %

22	www.ma.imperial.ac.uk Internet Source	<1 %
23	ejurnal.ung.ac.id Internet Source	<1 %
24	es.scribd.com Internet Source	<1 %
25	www.lighting.philips.co.uk Internet Source	<1 %
26	Submitted to Sriwijaya University Student Paper	<1 %
27	pexio.co.id Internet Source	<1 %
28	Submitted to Universitas Nasional Student Paper	<1 %
29	edoc.pub Internet Source	<1 %
30	Submitted to UIN Sunan Ampel Surabaya Student Paper	<1 %
31	repo.undiksha.ac.id Internet Source	<1 %
32	journal.lppmunindra.ac.id Internet Source	<1 %
33	digilib.unila.ac.id Internet Source	<1 %

34	erepository.uwks.ac.id Internet Source	<1 %
35	polinela.ac.id Internet Source	<1 %
36	repository.uki.ac.id Internet Source	<1 %
37	fdocuments.net Internet Source	<1 %
38	repository.unhas.ac.id Internet Source	<1 %
39	Submitted to SDM Universitas Gadjah Mada Student Paper	<1 %
40	pdfcoffee.com Internet Source	<1 %
41	id.scribd.com Internet Source	<1 %
42	katigaku.top Internet Source	<1 %
43	www.coursehero.com Internet Source	<1 %
44	jurnal.umt.ac.id Internet Source	<1 %
45	Muhammad Irfan S, Herri Gusmedi, Dikpride Despa. "Optimasi Penggunaan Energi Pada	<1 %

Sistem Pencahayaan Gedung Rektorat
Universitas Lampung Dalam Rangka
Konservasi Energi", Jurnal Informatika dan
Teknik Elektro Terapan, 2016

Publication

46

Submitted to Universitas Islam Indonesia

Student Paper

<1 %

47

idoc.pub

Internet Source

<1 %

48

Idad Syaeful Haq, Maulana Ahsan Purba.
"Kajian Penyebab Kerusakan Door Packing
pada Tabung Sterilizer Menggunakan Metode
Root Cause Analysis (RCA) di Sungai Kupang
Mill", JURNAL VOKASI TEKNOLOGI INDUSTRI
(JVTI), 2020

Publication

<1 %

49

edoc.tips

Internet Source

<1 %

50

petrolab.co.id

Internet Source

<1 %

51

repository.radenfatah.ac.id

Internet Source

<1 %

52

repository.trisakti.ac.id

Internet Source

<1 %

53

repository.umi.ac.id

Internet Source

<1 %

54	eprints.uns.ac.id Internet Source	<1 %
55	repository.unsil.ac.id Internet Source	<1 %
56	repository.unmuhjember.ac.id Internet Source	<1 %
57	anzdoc.com Internet Source	<1 %
58	eprints.ums.ac.id Internet Source	<1 %
59	journal.uin-alauddin.ac.id Internet Source	<1 %
60	nusantaratraisser.co.id Internet Source	<1 %
61	Heriziana Heriziana, Maria Ulfah. "analisis faktor lingkungan fisik terhadap risiko stress kerja di cv natural Palembang tahun 2017", Jurnal Formil (Forum Ilmiah) Kesmas Respati, 2018 Publication	<1 %
62	pdfs.semanticscholar.org Internet Source	<1 %
63	ejournal.akprind.ac.id Internet Source	<1 %
	ejournal.poltekkes-smg.ac.id	

64

Internet Source

<1 %

65

jp.polinela.ac.id

Internet Source

<1 %

66

repository.poltekkes-denpasar.ac.id

Internet Source

<1 %

67

surabaya.liputan6.com

Internet Source

<1 %

68

Submitted to Loughborough University

Student Paper

<1 %

69

ejournal3.undip.ac.id

Internet Source

<1 %

70

josi.ft.unand.ac.id

Internet Source

<1 %

71

repository.ittelkom-pwt.ac.id

Internet Source

<1 %

72

ejournal.itn.ac.id

Internet Source

<1 %

73

Submitted to Tarumanagara University

Student Paper

<1 %

74

Submitted to Universitas Negeri Semarang

Student Paper

<1 %

75

metadata.pemalangkab.go.id

Internet Source

<1 %

76	repository.pip-semarang.ac.id Internet Source	<1 %
77	www.researchgate.net Internet Source	<1 %
78	eprints.poltekkesjogja.ac.id Internet Source	<1 %
79	etd.umi.ac.id Internet Source	<1 %
80	repositori.uin-alauddin.ac.id Internet Source	<1 %
81	repository.unpas.ac.id Internet Source	<1 %
82	www.jsme.or.jp Internet Source	<1 %
83	bplhd.jakarta.go.id Internet Source	<1 %
84	ejurnal.undana.ac.id Internet Source	<1 %
85	eprints.perbanas.ac.id Internet Source	<1 %
86	eprints.walisongo.ac.id Internet Source	<1 %
87	mobilbekasanda.blogspot.com Internet Source	<1 %

88	repository.upstegal.ac.id Internet Source	<1 %
89	bpsdm.pu.go.id Internet Source	<1 %
90	jurnalmahasiswa.unesa.ac.id Internet Source	<1 %
91	kemahasiswaan.budiluhur.ac.id Internet Source	<1 %
92	lib.ui.ac.id Internet Source	<1 %
93	mafiadoc.com Internet Source	<1 %
94	pt.scribd.com Internet Source	<1 %
95	qdoc.tips Internet Source	<1 %
96	repository.uinjkt.ac.id Internet Source	<1 %
97	sistemasi.ftik.unisi.ac.id Internet Source	<1 %
98	www.its.ac.id Internet Source	<1 %
99	Submitted to Universitas Diponegoro Student Paper	<1 %

100	Submitted to Universitas Pendidikan Indonesia Student Paper	<1 %
101	docobook.com Internet Source	<1 %
102	e-journal.sari-mutiara.ac.id Internet Source	<1 %
103	eprints.umsb.ac.id Internet Source	<1 %
104	imglify.mystrikingly.com Internet Source	<1 %
105	infopusatbroiler.wordpress.com Internet Source	<1 %
106	litapdimas.kemenag.go.id Internet Source	<1 %
107	repository.lppm.unila.ac.id Internet Source	<1 %
108	repository.radenintan.ac.id Internet Source	<1 %
109	repository.usd.ac.id Internet Source	<1 %
110	tind.unipma.ac.id Internet Source	<1 %
111	www.banjirembun.com	

Internet Source

<1 %

112

www.polsri.ac.id

Internet Source

<1 %

113

e-journal.uajy.ac.id

Internet Source

<1 %

114

zombiedoc.com

Internet Source

<1 %

115

id.wikipedia.org

Internet Source

<1 %

116

repository.uin-suska.ac.id

Internet Source

<1 %

Exclude quotes Off

Exclude matches Off

Exclude bibliography On

Draft TA_Rinaldy Josua_18734025 (1)

GRADEMARK REPORT

FINAL GRADE

GENERAL COMMENTS

/0

PAGE 1

PAGE 2

PAGE 3

PAGE 4

PAGE 5

PAGE 6

PAGE 7

PAGE 8

PAGE 9

PAGE 10

PAGE 11

PAGE 12

PAGE 13

PAGE 14

PAGE 15

PAGE 16

PAGE 17

PAGE 18

PAGE 19

PAGE 20

PAGE 21

PAGE 22

PAGE 23

PAGE 24

PAGE 25

PAGE 26

PAGE 27

PAGE 28

PAGE 29

PAGE 30

PAGE 31

PAGE 32

PAGE 33

PAGE 34

PAGE 35

PAGE 36

PAGE 37

PAGE 38

PAGE 39

PAGE 40

PAGE 41

PAGE 42

PAGE 43

PAGE 44

PAGE 45

PAGE 46

PAGE 47

PAGE 48

PAGE 49

PAGE 50

PAGE 51

PAGE 52

PAGE 53

PAGE 54

PAGE 55

PAGE 56

PAGE 57

PAGE 58

PAGE 59

PAGE 60

PAGE 61

PAGE 62

PAGE 63

PAGE 64

PAGE 65

PAGE 66

PAGE 67

PAGE 68

PAGE 69

PAGE 70

PAGE 71

PAGE 72

PAGE 73

PAGE 74

PAGE 75

PAGE 76

PAGE 77

PAGE 78

PAGE 79

PAGE 80

PAGE 81

PAGE 82

PAGE 83

PAGE 84

PAGE 85

PAGE 86

PAGE 87

PAGE 88

PAGE 89

PAGE 90

PAGE 91

PAGE 92

PAGE 93

PAGE 94

PAGE 95

PAGE 96

PAGE 97

PAGE 98

PAGE 99

PAGE 100

PAGE 101

PAGE 102

PAGE 103

PAGE 104

PAGE 105

PAGE 106

PAGE 107

PAGE 108

PAGE 109

PAGE 110

PAGE 111

PAGE 112

PAGE 113

PAGE 114

PAGE 115

PAGE 116

PAGE 117

PAGE 118

PAGE 119

PAGE 120

PAGE 121

PAGE 122

PAGE 123

PAGE 124

PAGE 125

PAGE 126

PAGE 127

PAGE 128

PAGE 129

PAGE 130

PAGE 131

PAGE 132

PAGE 133

PAGE 134

PAGE 135

PAGE 136
