



IENACO 2015
(Industrial Engineering National Conference)

Inovasi Teknologi Berbasis Industri Kreatif

Menyongsong Era Masyarakat Ekonomi ASEAN (MEA)



**SUSUNAN PANITIA
SEMINAR NASIONAL
INDUSTRIAL ENGINEERING NATIONAL CONFERENCE
(IENACO)
2015**

Ketua	: Ahmad Kholid Al Ghofari, ST. MT.
Wakil Ketua	: Dr. Hari Prasetyo
Sekretaris	: Muchlison Anis, ST. MT. Mila Faila Sufa, ST. MT.
Bendahara	: Ida Nursanti, ST. M.EngSc.
Sie Prosiding	: Ratnanto Fitriadi, ST. MT.
Sie Dana dan Promosi	: Much. Djunaidi, ST. MT.
Sie Acara	: Siti Nandiroh, ST. M.Eng. Etika Muslimah, ST. MM. MT.
Sie Konsumsi	: Indah Pratiwi, ST. MT.
Sie Perlengkapan dan Transportasi	: Dr. Suranto
Sie Pubdekdok	: Hafidh Munawir, ST. M.Eng.
Pembantu Umum	: Diharto M. Nur Rohman, SH.

REVIEWER
SEMINAR NASIONAL
INDUSTRIAL ENGINEERING NATIONAL CONFERENCE
(IENACO)
2015

Prof. Dr. Hari Purnomo (Universitas Islam Indonesia)

Prof. Dr. Ir. Susy Susmartini, MSIE (Universitas Negeri Sebelas Maret)

Dr. Rini Darmastiti (Universitas Gadjah Mada)

Hari Prasetyo, Ph.D (Universitas Muhammadiyah Surakarta)

Ir. Heru Prastawa, DEA (Universitas Diponegoro)

Dr. Tiena Gustina Amran (Universitas Trisakti)

Dr. Suranto (Universitas Muhammadiyah Surakarta)

Ucapan terimakasih kepada:

1. Badan Kerjasama Pendidikan Tinggi Teknik Industri Indonesia (BKSTI)
2. Koperasi Batik BATARI
3. Penerbit Salemba Empat
4. Penerbit Tiga Serangkai
5. Batik Mahkota Laweyan
6. Solopos
7. Batik Tiara Putri
8. Indrias Senthir
9. Talents Center Indonesia
10. Sekolah Vokasi UMS
11. Aisyiyah Ranting Makamhaji

DAFTAR ISI

Halaman Judul.....	
Kata Pengantar	
Susunan Panitia	
Daftar Reviewer dan Ucapan Terimakasih	
Daftar Isi.....	

KELOMPOK A – ERGONOMI DAN DESAIN PRODUK

IENACO 01 – Ainur Komariah, Suprpto, Darsini Pengembangan Model Penentuan Volume Segmen Tubuh Wanita Etnis Jawa	1
IENACO 02 – Edi Giyono, Hari Purnomo Desain Stasiun Kerja <i>Workshop</i> Pelatihan Bordir Komputer	9
IENACO 03 – Jazuli, Dwi Nugroho Susanto, Ratih Setyaningrum Analisis dan Perancangan Meja Las dengan Pendekatan Ergonomi dan QFD.....	16
IENACO 04 – Muhammad Yusuf Efek Pencahayaan Terhadap Prestasi dan Kelelahan Kerja Operator	24
IENACO 05 – Argadia Teguh Widodo, Rahmaniyah Dwi Astuti Perancangan Alat Bantu untuk Memperbaiki Postur Kerja pada Aktivitas Memelitur dalam Proses Finishing.....	30
IENACO 06 – V. Reza Bayu Kurniawan, Subagyo Analisa Pengaruh Nilai <i>Intangible</i> Terhadap Fungsionalitas Produk.....	38
IENACO 07 – Nofirza, Wresni Anggraini, Muhammad Rohimi Integrasi Konsep Islami dan <i>Ergonomic Design</i> dalam Perancangan Ulang Keramba Apung di Desa Ranah Kecamatan Kampar Riau	46
IENACO 08 – Mohammad Lukman Meja Bangku Ergonomis SD I_bM 2014 untuk Murid Kelas Satu dan Dua Sekolah Dasar	55
IENACO 09 – Winda Halim, Budiman Analisis dan Usulan Perancangan Sistem Kerja Ditinjau dari Segi Ergonomi.....	64
IENACO 10 – Lobes Herdiman, Ilham Priadythama Fase <i>Stance</i> dan Fase <i>Swing</i> pada Pengguna Kaki <i>Prostetik</i> Bawah Lutut Berdasarkan Analisa <i>GAIT</i>	72
IENACO 11 – Nia Budi Puspitasari, Nadira Apsari Analisis Waktu Siklus dengan Menggunakan Peta Kerja Tangan Kanan Tangan Kiri pada Proses <i>Tire Assy All Well BTU</i> di PT Suryaraya Rubberindo Industries.....	78
IENACO 12 – Chandra Dewi Kurnianingtyas Perbaikan Fasilitas Kerja pada Aktivitas Penghalusan Kayu untuk Memperbaiki Postur Kerja di Industri Kerajinan Mainan Anak-anak	86
IENACO 13 – Dyah Ika Rinawati, Dimas Aditya Shannon Dei <i>Redesign</i> Egrang Menggunakan Integrasi ECQFD, TRIZ dan AHP.....	92

IENACO 41 – Rainisa Maini Heryanto, Victor Suhandi, Mega Kurniawati Suherman Perancangan Kebutuhan Bahan Baku dengan Menggunakan Teknik <i>Lot Sizing Lot for Lot</i>, <i>Wagner Within</i>, dan <i>Joint Replenishment</i> dalam Upaya Meminimasi Biaya Persediaan (Studi Kasus: PT. X Bandung)	301
IENACO 42 – Mutmainah Mattjik Analisis Perawatan Komponen Kereta Api di Dipo Rangkasbitung.....	308
IENACO 43 – Aries Susanty, Nia Budi Puspitasari, Diery Leonardo Sipayung Usulan Pengembangan Eco-Industrial Park dengan Konsep Waste Exchange (Studi Kasus: Kawasan Industri Candi Semarang).....	315
IENACO 44 – Vincent, Indri Hapsari, Yunus Franciscus Perancangan <i>Natural Daylighting</i> pada <i>Sustainable Plant Building</i>	325
IENACO 45 – Yohanes Dicka Pratama, Paulus Sukpto, Carles Sitompul Model Perancangan <i>Performance Measurement System (PMS)</i> dengan Menggunakan Metode <i>Design for Six Sigma (DFSS)</i> dan <i>System Dynamic</i>	333
IENACO 46 – Sucipto Arief Wibowo, Y.M Kinley Aritonang, Carles Sitompul Analisis Rantai Pasok Bahan Baku Kayu untuk Mengoptimalkan <i>Inventory Level</i> (Studi Kasus: Industri <i>Pencil State</i> di PT. XYZ, Jawa Barat, Indonesia).....	341
IENACO 47 – Ahmad Kholid Al Ghofari, Muchlison Anis, Tri Mardian Saleh Evaluasi Penentuan Harga Pokok Produksi dan Perubahan Harga Bahan Baku Terhadap Keuntungan pada Industri Batik “X”	349
IENACO 48 – Mila Faila Sufa, Tri Yanto, Hafidh Munawir Analisis <i>Value Stream Mapping</i> untuk Memperpendek Waktu Pemenuhan Order	357
IENACO 49 – Fifi Herni Mustofa, Kusmaningrum Soemadi, Fachmi Muharami Jadwal Penggantian Pencegahan Gabungan Sub Komponen <i>Water Cooling Panel</i> Dengan Kriteria Minimisasi Ekspektasi Total Biaya Perawatan di PT. Inter World Steel Mills Indonesia.....	365
IENACO 50 – Fifi Herni Mustofa, Arie Desrianty, Verina R. Pertiwi Rancangan Sistem Pengendalian Persediaan Komponen Mobil Panser Menggunakan Metode <i>Multi Item Single Supplier</i> di PT. Pindad (Persero).....	373
IENACO 51 – Muhammad Agus Syarif, Moehamad Aman, Eko Muh Widodo Penentuan <i>Reliability</i> Mesin Extruder guna Meningkatkan <i>Finish Good Product</i> dengan Pendekatan <i>Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)</i> Di CV. Sinar Joyo Boyo Magelang	381
IENACO 52 – Ratnanto Fitriadi, Bambang Setiawan Analisa Penyebab Kerusakan Mesin <i>Packer</i> Semen di Tuban IV dengan Pendekatan FMEA dan LTA	391
KELOMPOK D – SISTEM USAHA DAN PENGAMBILAN KEPUTUSAN	
IENACO 53 – Arman Hakim Nasution, Alva Edy Tontowi, Bertha Maya Shopa, Budi Hartono Metode Alternatif Seleksi Industri Unggulan DIY Kelompok Industri Kreatif Berbasis Potensi Pertumbuhan Kinerja	399

PERANCANGAN NATURAL DAYLIGHTING PADA SUSTAINABLE PLANT BUILDING

Vincent^{1*}, Indri Hapsari², Yunus Fransiscus³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Industri, Universitas Surabaya

Raya Kalirungkut, Surabaya 60293, Indonesia

E-mail: indri@staff.ubaya.ac.id

Abstrak

Berbagai isu lingkungan seperti perubahan iklim, energi dan keanekaragaman hayati yang berkurang, limbah, krisis energi hingga kelangkaan air telah menjadi perhatian dunia. Terkait dengan krisis energi, selain karena kelangkaan sumber daya, penggunaan energi yang tidak tepat dapat membebani perusahaan karena biaya operasional yang tinggi. PT. X adalah sebuah pabrik tutup panci di Sidoarjo. Salah satu fasilitas produksinya adalah unit kaca dan menempati bangunan konvensional yang menjadi objek penelitian ini. PT. X dalam operasionalnya memanfaatkan penerangan dari lampu TL. Dari perhitungan *electrical* dan *lightning system* diperkirakan jumlah lampu yang ada di dalam bangunan pabrik adalah 508 lampu. Berdasarkan analisis perhitungan *fl* dengan memanfaatkan software *DIALux* untuk mensimulasikan kebutuhan lampu pada masing-masing departemen, didapatkan hasil masih banyak departemen yang tidak memenuhi kebutuhan minimal penerangan. Pencahayaan buatan ini dapat dikurangi dan digantikan dengan pencahayaan alami, misalnya dengan menggunakan *Solatube*. Dari hasil rancangan, direkomendasikan untuk mengganti penggunaan lampu TL sebanyak 450 lampu. Penggunaan *Solatube* juga menghemat penggunaan energi listrik hingga 97% dan memiliki umur produk hingga 20 tahun.

Kata kunci : pencahayaan, penghematan energi, sustainable building

1. PENDAHULUAN

Isu lingkungan menghadapi tantangan yang makin meningkat dari waktu yang sebelumnya. Berbagai isu lingkungan bermunculan, seperti : perubahan iklim, energi dan keanekaragaman hayati yang berkurang, limbah hingga kelangkaan air. Isu lingkungan ini telah mencapai titik krisis dan menjadi topik hangat. Salah satu penyebab kerusakan lingkungan ini adalah pertumbuhan manusia dan pembangunan industri yang pesat. Pembangunan industri menjadi salah satu penyumbang terbesar terhadap kerusakan lingkungan.

Pembangunan atau konstruksi menjadi penyumbang terbesar terhadap kerusakan alam. Menurut (Buechi, 2007) secara global, sektor konstruksi mengkonsumsi 50% sumber daya alam, 40% energi dan 16% air. Konstruksi juga menyumbangkan CO₂ terbanyak, yaitu 45%. Untuk mengurangi dampak kerusakan alam, proses pembangunan atau konstruksi harus menerapkan konstruksi yang berkelanjutan. Pemilihan material, proses pengolahan, distribusi material, proses konstruksi, pemilihan lokasi dan konsumsi energi menjadi pertimbangan utama dalam konstruksi yang berkelanjutan. Karena pada bidang-bidang itulah yang berkontribusi terhadap kerusakan alam.

Dari data IEA (*International Energy Agency*), pada laporan *South East ASIA energy outlook* terdapat informasi bahwa emisi CO₂ di Indonesia sangat tinggi dibandingkan dengan negara-negara ASEAN lainnya, salah satu sumber penyebab tingginya emisi CO₂ adalah sektor industri. Sebagian industri di Indonesia masih memakai pembangunan konvensional yang tidak mempertimbangkan pembangunan berkelanjutan. Pembangunan berkelanjutan ditujukan untuk mengurangi konsumsi energi dengan memanfaatkan energi-energi alami, seperti sinar matahari untuk menggantikan penggunaan lampu dan ventilasi untuk mengurangi pemakaian pendingin ruangan.

Pembangunan berkelanjutan dimaksudkan untuk mengurangi munculnya isu terjadinya efek rumah kaca, pemanasan global dan perubahan iklim, termasuk isu tentang krisis sumberdaya alam dan krisis energi. *Green building* saat ini menjadi isu yang sangat penting dalam mengingat pembangunan di Indonesia yang semakin pesat dan kebutuhan akan energi yang terus meningkat. *Green building* juga merupakan salah satu komponen dalam mendukung pembangunan rendah karbon yakni melalui kebijakan dan program peningkatan efisiensi energi, air dan material serta penggunaan teknologi rendah karbon (Yuwono, 2012). Penerapan *Green building* bukan saja

memberikan manfaat secara ekologis, tetapi juga ekonomis, karena dapat menurunkan biaya operasional dan perawatan gedung.

PT. X merupakan suatu pabrik tutup panci yang memiliki potensi dalam pengembangan konsep *sustainable building*. Perusahaan ini memiliki tiga unit usaha yaitu unit kaca, unit plastik, dan unit pembuatan jam yang sudah berdiri sejak tahun 1991. Salah satu fasilitas produksi yaitu unit kaca, menempati bangunan konvensional. Bangunan konvensional menggunakan modal yang relatif lebih kecil dibandingkan dengan pembangunan dengan konsep *sustainable building* Namun untuk kriteria efisiensi, bangunan yang berkonsep *sustainable building* diharapkan dapat memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan bangunan konvensional (Moxon, 2012).

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah untuk menganalisis kondisi awal, hasil rancangan *sustainable building* dan manfaat yang dihasilkan pada aspek lingkungan, sosial, dan ekonomi, antara bangunan konvensional dengan bangunan berkonsep *sustainable building*.

2. METODOLOGI

Langkah awal dalam melakukan penelitian ini adalah melakukan observasi awal dengan mencari data tentang rancangan *green building* di Indonesia. Kemudian dilakukan identifikasi masalah untuk mengetahui apa saja yang harus diselesaikan dalam penelitian ini. Perumusan masalah dalam penelitian ini adalah masih sedikitnya jumlah pabrik di Indonesia yang menyadari pentingnya konsep *green building* untuk meningkatkan kesadaran lingkungan, serta masalah dampak yang dihasilkan bangunan konvensional terhadap lingkungan hingga peluang pengembangan *sustainable building*.

Langkah berikutnya adalah menetapkan studi kepustakaan sebagai landasan teori terkait metode-metode yang digunakan. Selanjutnya dilakukan pengumpulan data, terdapat 2 jenis data yang diperlukan yaitu data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui wawancara kepada salah satu pegawai PT. X di Sidoarjo. Data sekunder diperoleh dari jurnal, *paper* dan internet. Kemudian dilakukan pengolahan data dan analisis hasil yang meliputi analisis kondisi awal dengan menggunakan *software* SBTool, melakukan perancangan *sustainable building* dengan menerapkan *green building concept*, dan simulasi kebutuhan lampu dengan menggunakan *software* DIALux, menganalisis kondisi usulan dengan SBTool, dan analisis aspek lingkungan, sosial dan ekonomi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Analisis SBTool pada Kondisi Awal

SBTool (*Sustainable Building*) *Generic System* adalah suatu alat umum untuk mengukur nilai *performance* dan dapat dikembangkan dengan menggunakan sistem *rating*. Penggunaan SBTool ini didasarkan akan kebutuhan akan pembangunan berkelanjutan, sistem ini telah dirancang untuk memfasilitasi dalam pengukuran *Sustainable Building*. Terdapat 14 kriteria aktif dari 7 kategori kriteria yang menjadi penilaian untuk pabrik PT. X untuk kondisi *current*. Pemilihan kriteria berdasarkan kebutuhan *minimum-scope* untuk memenuhi kunci isu permasalahan. Salah satu kriterianya adalah *Impact on access to daylight or solar potential of adjacent property*, yang terdiri dari *Energy Efficiency Measure* dan *Daylighting & illuminations*. *Energy Efficiency Measure* akan memastikan kriteria perancangan, prosedur perancangan konservasi energi dan rekomendasi dari selubung bangunan pada bangunan gedung yang optimal, sehingga penggunaan energi dapat efisien tanpa harus mengurangi atau mengubah fungsi gedung yang optimal, kenyamanan dan produktivitas kerja penghuni, serta mempertimbangkan aspek biaya. Sedangkan *Daylighting & illuminations* akan memastikan pencahayaan yang cukup pada ruangan dengan indikator analisis faktor pencahayaan alami dan buatan.

Pengolahan dengan menggunakan *software* SBTool untuk mengetahui seberapa besar nilai kategori yang dimiliki oleh PT. X pada kondisi sekarang melalui data observasi langsung, wawancara dan analisis data dari internet. Hasil Dari SBTool pada PT. X untuk kondisi awal secara keseluruhan *performance*-nya adalah D, dengan skor proyek 1,41. Kondisi pabrik pada sekarang untuk praktik *sustainable building* masih berada di bawah standar, atau di bawah skor 3 yang merupakan nilai standar pada *sustainable building* untuk *good practice*.

Pencahayaan alami didapatkan dari sinar matahari secara langsung yang merupakan energi alami serta menyebarkan cahaya ke bangunan untuk mengurangi penerangan listrik dan hemat

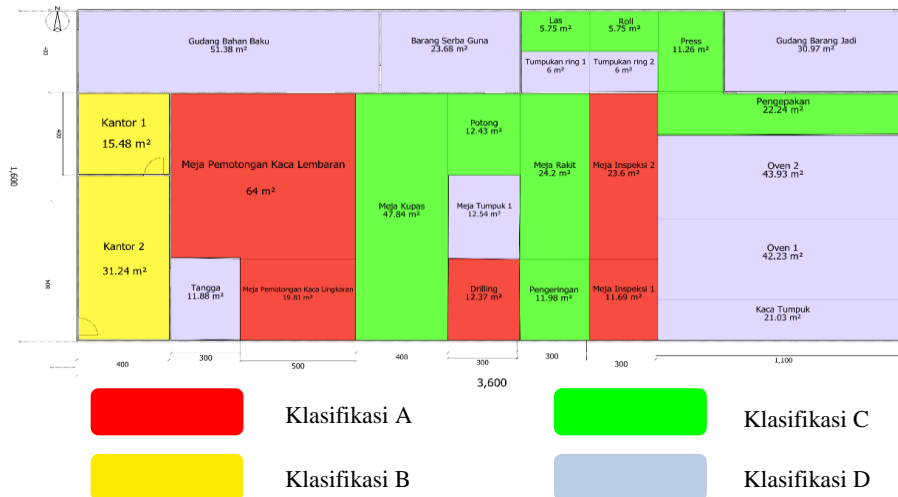
energi (Gregg, 2012). Pencahayaan membantu menciptakan lingkungan yang merangsang visual dan produktif bagi penghuni bangunan, sambil mengurangi sebanyak sepertiga dari total biaya energi bangunan. Cahaya yang masuk ke dalam pabrik merupakan cahaya *diffuse* yaitu cahaya yang menyebar merata di dalam ruang setelah melalui *shading* (penyaring cahaya). Di samping itu, cerahnya cahaya matahari serta rancangan bukaan terhadap sudut datangnya cahaya sangat berpengaruh terhadap kualitas pencahayaan pada ruang kelas. Penggunaan jendela atau bukaan pada rancangan pabrik dimaksudkan untuk memberikan pencahayaan alami pada ruang produksi (menghemat biaya operasional bangunan). Pencahayaan pada ruang dan jarak pandang yang baik akan berpengaruh terhadap kinerja operator. Luas dan peletakan bukaan terhadap lintasan matahari serta letak penghalang cahaya matahari sangat mempengaruhi kualitas pencahayaan di dalam bangunan.

Kualitas pencahayaan yang harus dan layak disediakan, ditentukan oleh penggunaan ruangan, khususnya ditinjau dari segi beratnya penglihatan oleh mata terhadap aktivitas yang harus dilakukan dalam ruangan itu, serta lamanya waktu aktivitas yang memerlukan daya penglihatan yang tinggi dan sifat aktivitasnya, sifat aktivitas dapat secara terus menerus memerlukan perhatian dan penglihatan yang tepat, atau dapat pula secara periodik dimana saat mata dapat beristirahat

Kualitas pencahayaan dapat dikelompokkan sebagai berikut :

- a. Kualitas A : kerja halus sekali, pekerjaan secara cermat terus menerus seperti menggambar detail, menjahit kain, dan sebagainya. Pada area klasifikasi A, biasanya digunakan untuk pekerjaan yang memerlukan konsentrasi tinggi karena merupakan pekerjaan halus yang dikerjakan secara terus menerus dan membutuhkan kecermatan yang tinggi. Sehingga kualitas cahaya yang dibutuhkan sangat tinggi. Area pada pabrik yang membutuhkan tingkat cahaya klasifikasi A adalah meja pemotongan kaca lembaran, meja pemotongan kaca lingkaran, drilling, meja inspeksi 1 dan meja inspeksi akhir.
- b. Kualitas B : kerja halus, pekerjaan cermat tidak secara intensif terus menerus, seperti menulis, membaca, membuat alat atau merakit komponen-komponen kecil dan sebagainya. Pada area klasifikasi B, biasanya digunakan untuk pekerjaan halus yang tidak secara terus menerus dikerjakan seperti menulis dan membaca. Sehingga kualitas cahaya yang dibutuhkan cukup tinggi. Area pada pabrik yang membutuhkan tingkat cahaya klasifikasi B adalah kantor 1 dan 2.
- c. Kualitas C : kerja sedang, pekerjaan tanpa konsentrasi yang besar dari pelaku, seperti pekerjaan kayu, merakit suku cadang yang besar dan sebagainya. Pada area klasifikasi C, biasanya digunakan untuk tanpa konsentrasi yang besar dari pelaku, seperti pekerjaan kayu, merakit suku cadang yang besar dan sebagainya. Sehingga kualitas cahaya yang dibutuhkan tinggi. Area pada pabrik yang membutuhkan tingkat cahaya klasifikasi C adalah meja kupas, potong, meja rakit, meja pengeringan, lass, roll, press dan pengepakan.
- d. Kualitas D : kerja keras, pekerjaan dimana hanya detail yang besar harus dikenal, seperti pada gudang, lorong lalu lintas orang dan sebagainya. Pada klasifikasi D, biasanya untuk pekerjaan dimana hanya detail yang besar harus dikenal, seperti pada gudang, lorong lalu lintas orang dan sebagainya. Sehingga cahaya yang dibutuhkan tidak cukup tinggi. Area pada pabrik yang membutuhkan tingkat cahaya klasifikasi D adalah gudang bahan baku, gudang barang serbaguna, meja tumpuk, gudang barang jadi, dan oven.

Penentuan klasifikasi kualitas pencahayaan pada rancangan *sustainable building* PT. X untuk masing – masing departemen dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Area berdasarkan klasifikasi kebutuhan cahaya

Nilai faktor langit (fl) pada titik ukur dalam ruangan rancangan *sustainable building* pada PT. X harus memenuhi kebutuhan yang telah disesuaikan dengan SNI. Dimana nilai (fl) min pada setiap ruangan dalam rancangan harus di atas ketentuan umum data. Untuk klasifikasi pencahayaan A adalah 0,45; B 0,35; C 0,25 dan D 0,15. Analisis hasil pengujian (fl) pada setiap ruangan didapatkan dengan cara perhitungan sebagai berikut, misal untuk departemen bahan baku :

$$fl = \frac{1}{2\pi} \left\{ \arctan \frac{L}{D} - \sqrt{1 + \left(\frac{H}{D}\right)^2} \arctan \sqrt{1 + \left(\frac{H}{D}\right)^2} \right\} \tag{1}$$

$$fl = \frac{1}{2\pi} \left\{ \arctan 1/2 - \sqrt{1 + \left(\frac{5}{2}\right)^2} \arctan \sqrt{1 + \left(\frac{5}{2}\right)^2} \right\} = 0,40 \tag{2}$$

Perhitungan jumlah lampu dilakukan untuk mendapatkan jumlah lampu yang mencukupi penerangan di pabrik pada kondisi awal. Dalam menentukan jumlah lampu yang dibutuhkan, digunakan asumsi – asumsi sebagai berikut :

- a. Lampu yang digunakan berjenis *fluorescent in uncovered fixtures* atau lampu TL dengan daya 60 Watt untuk lantai produksi, ruang penyimpanan produk jadi dan gudang penyimpanan. Daya 40 Watt untuk kantor dan fasilitas pendukung.
- b. Lampu digantung dengan jarak 1 m dari atap dan 4 m dari permukaan benda kerja untuk lantai produksi, ruang penyimpanan produk jadi, dan gudang penyimpanan. Sedangkan untuk kantor dan fasilitas pendukung, lampu ditanam di langit-langit dengan tinggi 3 m dari permukaan lantai. Tinggi benda kerja dari lantai adalah 0,8 m.

Dalam mendirikan suatu tempat usaha perlu direncanakan penyediaan fasilitas penunjang yang memadai , salah satunya berupa penerangan yang cukup. Berikut ini adalah contoh perhitungan jumlah lampu yang harus tersedia untuk mencukupi kebutuhan penerangan (Tompkins, 2003).

Misal perhitungan jumlah lampot untuk meja pemotongan kaca lembaran ukuran panjang 8 m dan lebar 8 m:

$$RCR = \frac{5 \times \text{Tinggi Benda Kerja ke Lampu} \times (\text{Panjang Ruangan} + \text{Lebar Ruangan})}{\text{Panjang Ruangan} \times \text{Lebar Ruangan}}$$

$$RCR = \frac{5 \times 13,1 \times (26,2 + 26,2)}{26,2 \times 26,2} = 5$$

$$CCR = \frac{\text{Tinggi Lampu ke Atap}}{\text{Tinggi Permukaan Benda Kerja ke Lampu}} \times RCR = \frac{3,281}{13,1} \times 5 = 1$$

- Dinding di cat dengan warna putih, WR = 80%.
- *Approximate Reflectance for Ceiling Surfaces* adalah *aluminium paint*, sehingga nilai BCR = 65%.
- Dengan nilai BCR = 65%, WR = 80%, dan CCR = 2, maka nilai ECR = 60%.
- Lampu yang digunakan berjenis *fluorescent in uncovered fixtures*.
Karena nilai RCR dan ECR tidak ada di tabel, maka perlu dilakukan interpolasi sehingga nilai CU berasal dari RCR = 5 ; ECR = 60% ; WR = 80% = 0,51
- Berdasarkan tingkat kekotoran, masuk ke dalam kategori *light machining* dan lampu dibersihkan setiap 1 tahun sekali sehingga nilai LLF untuk *fluorescent in uncovered fixtures* = 0,9
- Jumlah lampu yang dibutuhkan
Jenis lampu yang digunakan adalah *fluorescent in uncovered fixtures* dengan daya sebesar 60 Watt dengan *output* lampu sebesar 3.300 lumens. *Level of illumination* termasuk dalam kategori *ordinary automatic machine* sehingga besarnya *level of illumination* adalah 100 footcandles.

$$\text{Level of Illumination} \times \text{Panjang Ruang} \times \text{Lebar Ruang}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah Lampu} &= \frac{\text{CU} \times \text{LLF} \times \text{Output Lampu}}{100 \times 26,2 \times 26,2} \\ &= \frac{0,51 \times 0,9 \times 3.300}{100 \times 26,2 \times 26,2} = 46 \text{ buah lampu.} \end{aligned}$$

Berikut adalah tabel perhitungan jumlah lampu di lantai produksi, ruang penyimpanan produk, kantor dan fasilitas pendukung, dengan total lampu adalah 508 lampu.

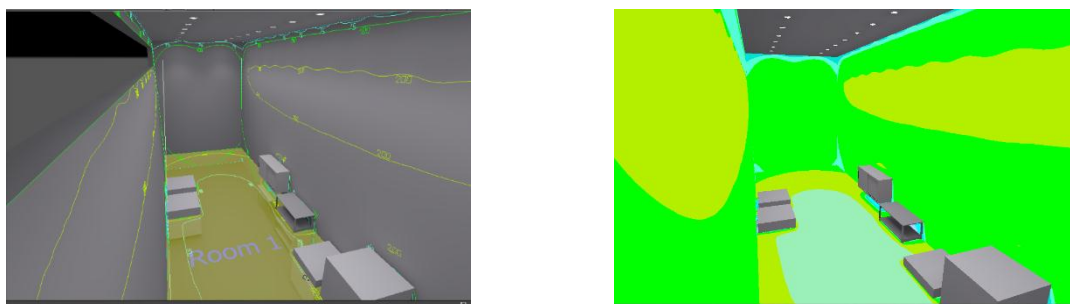
Tabel 2. Jumlah output lampu pada masing-masing departemen

Area	BCR	WR	ECR	CU	LLF	Lumens	Output lampu
Gudang bahan baku	65	80	55	0,44	0,83	3300	23
Kantor 1	65	80	80	0,49	0,83	3300	6
Kantor 2	65	80	80	0,56	0,83	3300	11
Meja Pemotongan kaca lembaran	65	80	60	0,51	0,83	3300	49
Meja Pemotongan kaca lingkaran	65	80	55	0,39	0,83	3300	20
Meja kupas	65	80	55	0,44	0,83	3300	43
Barang serbaguna	65	80	55	0,41	0,83	3300	12
Potong	65	80	53	0,31	0,83	3300	15
Meja tumpuk 1	65	80	53	0,31	0,83	3300	15
Drilling	65	80	53	0,31	0,83	3300	15
Pengeringan	65	80	53	0,31	0,83	3300	15
Meja inspeksi 1	65	80	53	0,31	0,83	3300	15
Oven 1	65	80	55	0,44	0,83	3300	39
Tumpukan ring 1	65	80	50	0,29	0,83	3300	8
Tumpukan ring 2	65	80	50	0,29	0,83	3300	8
Roll	65	80	50	0,29	0,83	3300	8
Las	65	80	50	0,29	0,83	3300	8
Press	65	80	53	0,31	0,83	3300	15
Gudang barang jadi	65	80	55	0,41	0,83	2500	20
Pengepakan	65	80	53	0,31	0,83	3300	28
Meja inspeksi akhir	65	80	55	0,29	0,83	3300	33
Meja rakit	65	80	55	0,29	0,83	3300	33
Oven 2	65	80	55	0,44	0,83	3300	39
Kaca tumpuk	65	80	53	0,31	0,83	3300	28

3.2 Analisis Pemanfaatan Solatube sebagai Pengganti Lampu Ruang

Pemanfaatan teknologi baru *Solatube* menjadi salah satu alternatif pilihan untuk mengurangi penggunaan lampu. Cahaya yang dikeluarkan oleh *Solatube* berbeda dengan cahaya lampu yang konstan, karena *Solatube* berkonsep reflektif, maka cahaya yang dihasilkan tergantung pada cahaya yang di luar. Namun dalam keadaan berawan, cahaya yang direfleksikan di dalam ruangan masih dapat mengakomodasi aktivitas dalam ruangan.

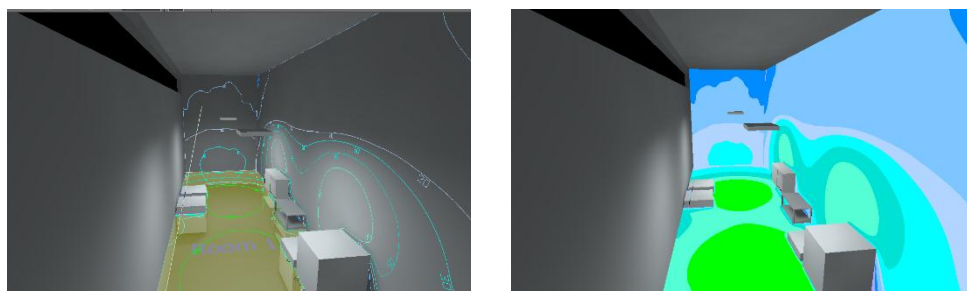
Berikut adalah analisis kebutuhan *Solatube* melalui simulasi menggunakan program DIALux, yang dapat mensimulasikan hasil penyebaran cahaya oleh lampu pada gudang bahan baku.



Gambar 2. Analisis DIALux pada gudang bahan baku kondisi awal

Dari hasil simulasi didapatkan bahwa pada area gudang bahan baku, *level of illuminations* adalah sebesar 50 lux. Sedangkan pada hasil simulasi didapatkan bahwa pada permukaan benda kerja, *level of illumination* yang dihasilkan adalah sebesar 300 lux. Ini melebihi kebutuhan penerangan pada area itu. Sehingga dilakukan dengan mengganti lampu dengan penggunaan *Solatube*.

Dari hasil simulasi penggunaan *Solatube* pada gudang bahan baku, hanya membutuhkan 2 *Solatube* untuk menghasilkan penyebaran cahaya yang cukup pada ruangan dengan rata-rata penyebaran cahaya hingga 75 lux. Kebutuhan minimum *level of illumination* pada area gudang adalah 50 lux. Sehingga pemakaian *Solatube* memenuhi kebutuhan penerangan pada area tersebut. Penggunaan lampu yang disarankan adalah 58 lampu atau berkurang 450 lampu dari kondisi awal.



Gambar 3. Analisis Dialux pada gudang bahan baku kondisi rancangan

Analisis penggantian lampu pada kondisi awal dengan *Solatube* dapat dilihat pada tabel 2.

Pada kondisi awal yang digunakan adalah lampu jenis Philips TL-T5 60w TCH086 dengan biaya Rp 98.000,- per unit dan siap pasang, dengan refill Rp 36.000,- per unit. Jumlah lampu yang didapatkan dari hasil perhitungan analisis kebutuhan lampu kondisi awal adalah 508 unit lampu. Sehingga total biaya untuk pemasangan lampu untuk pabrik kondisi awal adalah sebesar Rp. 49.784.000,-. Lampu jenis ini dapat bertahan hingga 15.000 jam atau sekitar 2 tahun. Untuk konsumsi energi listrik pada kondisi awal dari hasil analisis *software* DIALux didapatkan bahwa rata-rata konsumsi energi listrik 1 unit lampu TL dalam setahun adalah sebesar 66,6 kWh. Sehingga total konsumsi energi listrik pada kondisi awal didapatkan 508 unit x 66,6 kWh/tahun atau 33.868,36 kWh/tahun, sehingga biaya listrik jika menggunakan lampu adalah Rp 36.408.487,-/tahun. Jika biaya pemasangan dan refill lampu, serta biaya listrik dihitung untuk 20 tahun dengan menggunakan NPV dan bunga 5%, maka biaya yang harus dikeluarkan adalah Rp 160.959.074,- + Rp 453.730.223,- = Rp 614.689.297,-

Tabel 2. Analisis perbandingan kondisi awal dengan rancangan.

Area	output lampu	level of illumination	illumination yang dihasilkan	hasil simulasi kebutuhan <i>solatube</i>	hasil lux <i>solatube</i>
Gudang bahan baku	23	50	300	2	75-100
Kantor 1	7	50	-		-
Kantor 2	10	50	-		-
Meja pemotongan kaca lembaran	49	100	300	2	75-100
Meja pemotongan kaca lingkaran	20	100	500	2	75-200
Meja kupas	43	100	500	2	75-200
Barang serbaguna	12	50	300	2	75-100
Potong	15	100	500	2	75-100
Meja tumpuk 1	15	100	300	1	75-100
drilling	15	100	300	2	75-100
Pengeringan	15	100	500	2	75-100
Meja inspeksi 1	15	100	500	2	75-100
Oven 1	39	100	500	1	75-100
Tumpukan ring 1	8	100	300	1	75-100
Tumpukan ring 2	8	100	300	1	75-100
Roll	8	100	300	2	75-100
Las	8	100	300	2	75-100
Press	15	100	300	2	75-100
Gudang barang jadi	20	50	300	2	75-100
Pengepakan	28	100	500	2	75-200
Meja inspeksi akhir	33	100	500	2	75-200
Meja rakit	33	100	500	2	75-200
Oven 2	39	100	500	1	75-100
Kaca tumpuk	28	100	500	2	75-200

Untuk hasil rancangan *green factory* menggunakan *Solatube smart LED system* dengan harga per unit \$539, maka jika nilai tukar rupiah adalah Rp 12.658,- maka biaya *Solatube* adalah Rp 6.822.662,- per unit. Jumlah kebutuhan *Solatube* setelah disimulasikan menggunakan *software DIALux* adalah 40 unit. Sehingga estimasi total biaya pemasangan *Solatube* untuk rancangan pabrik *green factory* adalah sebesar Rp 272.906.480,-. *Solatube* jenis ini dapat bertahan hingga 20 tahun tanpa membutuhkan perawatan khusus dan per unit *Solatube* dapat menerangi hingga radius 250 ft². Pada *Solatube* yang menjadi sumber cahaya adalah cahaya matahari, pada bagian dalam komponen juga terdapat LED yang mendapatkan energi penerangan dari cahaya matahari. Sehingga tidak ada konsumsi energi listrik dari *Solatube*. Biaya listrik pada *Solatube* = Rp 0,-/tahun, sedangkan pencahayaan buatan yang dibutuhkan adalah 58 lampu dengan biaya Rp 4.152.510,- per tahun atau NPV Rp 51.749.453,- dalam jangka waktu 20 tahun. Total biaya yang dikeluarkan dalam NPV untuk penggunaan *Solatube* dan sekitar 20% cahaya buatan dari yang semula dibutuhkan adalah Rp 324.655.933,- atau terdapat penghematan dari kondisi awal sebesar Rp 290.033.364,-

3.3. Analisis SBTool pada Rancangan Sustainable Building

Dari hasil rancangan, dilakukan pengolahan data kembali dengan menggunakan *software SBTool* untuk mengetahui perubahan nilai kategori pada hasil rancangan.

Hasil SBTool pada rancangan PT. X dengan *sustainable building* secara keseluruhan *performance target level* adalah A untuk keseluruhan kriteria yang ada, dengan skor proyek 4,02. Kondisi pabrik untuk rancangan dengan *green building concept* ini memenuhi standar praktik *sustainable building* dengan hasil *good practice or better*. Target skor 3 merupakan nilai standar pada *sustainable building* untuk *good practice*.

Nilai Indoor Environmental Quality meningkat dari 1,3 menjadi 4. Untuk aspek lingkungan penggunaan *Solatube* pada *lighting system* mengurangi pemakaian listrik hingga 80% untuk penerangan. karena *Solatube* menggunakan pantulan cahaya matahari sebagai sumber cahaya.

Sedangkan dari aspek sosial rancangan atap berubah dari rancangan awal menjadi rancangan usulan, dengan adanya penghijauan yang berfungsi untuk memberikan rasa harmonis dan nyaman serta bentuk bangunan yang disesuaikan dengan ventilasi alami memberikan rasa nyaman pada pengguna. Ditinjau dari aspek ekonomi penggunaan Solatube memiliki investasi yang sangat besar, namun berdasarkan jangka waktu pemakaian dan penghematan yang dilakukan, dalam perancangan menggunakan Solatube sebagai sumber cahaya utama dan lampu sebagai sumber cahaya pendukung menghasilkan penghematan sebesar 47% untuk jangka waktu 20 tahun.

4. KESIMPULAN

Dari hasil analisis rancangan, direkomendasikan untuk mengganti penggunaan lampu TL dengan menggunakan *Solatube*, dari hasil simulasi didapatkan bahwa penghematan yang didapatkan hingga 450 lampu dari 508 jumlah lampu. *Solatube* juga merupakan suatu produk yang menghasilkan cahaya dan energi dari cahaya matahari. Sehingga penggunaan *Solatube* dapat menghemat penggunaan energi listrik serta memiliki umur produk hingga 20 tahun. Secara keseluruhan seluruh aspek kriteria telah memenuhi kebutuhan *good practice* dan berada diatas nilai *good practice* . Sehingga rancangan PT. X dengan *green concept* layak menjadi salah satu industri hijau pertama apabila di bangun. Seluruh aspek telah dipertimbangkan, dengan memanfaatkan potensi pada kondisi awal, dengan melakukan pengembangan maka secara keseluruhan rancangan ini sangat bermanfaat bagi lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Buechi, 2007, Acara Holcim Awards for Sustainable Construction 2007/2008 pada 21 Nopember 2007 di Restoran New Indie Araya Malang.
- Gregg, J., 2012, *Natural daylighting system*. New York: John Wiley & Sons, Inc002
- Moxon, Sian, 2003, *Sustainability in interior design*, London : Laurence King Pub., 2012
Tompkins
- Tompkins. James, White, John A., Bozer, Yavuz A., Tancoco, J. M. A., 2003, *Facilities Planning*, John Willey and Sons
- Yuwono, Arief, 2012, *Aksi Mitigasi Pada Bangunan Ramah Lingkungan*. Bahan Presentasi Deputi Pengendalian Kerusakan Lingkungan dan Perubahan Iklim Kementerian Lingkungan Hidup
<http://samm-media.org/2008/12/acara-holcim-awards-for-sustainable.html>