

OPTIMISASI PARAMETRIK FASAD BILAH HORIZONTAL TERHADAP PENCAHAYAAN ALAMI DENGAN METRIK *USEFUL DAYLIGHT ILLUMINANCE* (UDI) DI KOTA LHOKEUMAWA

Atthailah^{1*}, Rizki Armanto Mangkuto²
Program Studi Arsitektur, Universitas Malikussaleh¹
Program Studi Teknik Fisika, Institut Teknologi Bandung²
e-mail: ^{*1}atthailah@unimal.ac.id, ²armanto@tf.itb.ac.id

Abstrak_ Studi ini melakukan optimasi pengaruh rotasi (α) dan lebar bilah (l) pada fasad bilah horizontal untuk pencahayaan alami yang optimal di Kota Lhokseumawe. Sebuah ruang belajar sekolah dasar hipotetik tanpa konteks dimodelkan secara komputasional kemudian diuji dengan metrik UDI. Metode optimasi dengan *Genetic Algorithm* (GA) dengan *Galapagos* digunakan untuk mendapatkan solusi-solusi rotasi dan lebar bilah yang optimal terhadap pencahayaan alami. Mesin simulasi *Radiance* dan *Daysim* digunakan yang dihubungkan dengan perangkat permodelan parametrik dengan aplikasi *Rhinoceros* dan *Grasshopper* melalui *plugins Ladybug Tools*. Optimasi dilakukan untuk mendapatkan nilai $UDI_{o.avg}$ (100-2000 Lux) paling maksimal. Hasil menunjukkan bahwa terdapat pengaruh rotasi dan lebar bilah yang berbeda-beda untuk setiap orientasi di Kota Lhokseumawe. Ada dua orientasi yang dapat dirasionalkan hasil optimasi dari GA yaitu Utara dengan nilai $\alpha=90$ dengan beberapa nilai lebar bilah yaitu $l=0,20m$, $l=0,22m$, $l=0,43$ dan $l=0,45m$ mendapatkan nilai $UDI_{o.avg}=100\%$, serta hadapan Timur dengan satu kombinasi yaitu $\alpha=-80$, $l=0,30m$ dengan $UDI_{o.avg}=99,29\%$. Sementara, sisi Selatan dan Barat direkomendasi untuk memilih kombinasi solusi-solusi optimal yang sangat variatif oleh GA yang disajikan pada penelitian ini. Lebih lanjut, hadapan Utara dan Selatan mendapatkan solusi optimal dengan diferensiasi sudut yang kecil terhadap sudut 90 derajat dari bilah horizontal. Solusi-solusi optimal yang variatif dari sudut rotasi dan lebar bilah yang didapatkan dengan metode GA dapat menguntungkan untuk menciptakan desain fasad yang terlihat tidak seragam untuk setiap orientasi atau bahkan pada satu orientasi.

Kata kunci : Optimisasi; Pencahayaan Alami; Desain Fasad; Bilah Horirizontal; *Useful Daylight Illuminance*.

Abstract_ This study examined the effects of optimizing rotation (α) and width (l) of the horizontal blades for optimal daylighting in Lhokseumawe. A hypothetical elementary classroom, without any context, was computationally designed and examined using UDI metric. Optimization Genetic Algorithm (GA) method with Galapagos were used to obtain the rotation solution and optimal daylighting. Moreover, Radiance and Daysim simulation engines connected to parametric platform of Rhinoceros and Grasshopper using Ladybug Tools as mediating tools were administered for the analysis. The optimization was aimed at maximum $UDI_{o.avg}$ (100-2000 Lux). Result revealed rotation and width of the horizontal blades contributed differently to every orientation in Lhokseumawe. Two orientations were succeeded to be rationalized based on GA optimization results, first, North showed $\alpha=90$ and some blades' width of $l=0,20m$, $l=0,22m$, $l=0,43$ and $l=0,45m$ resulted in $UDI_{o.avg}=100\%$. Second, East orientation for the combination of $\alpha=-80$, $l=0,30m$ resulted in $UDI_{o.avg}=99,29\%$. Further, South and West to maintained solutions from the GA optimization results as presented in this paper. In addition, North and South sides suggested a small differentiation for its rotation from full horizontal blades, which was 90 degrees. Various optimum design solutions, for rotation and width of the blades, from the GA benefitted to create non-uniform façade design for different or even at the similar orientation.

Keywords : Optimization; Daylighting; Façade Design; Horizontal Blades; *Useful Daylight Illuminance*.

¹ Program Studi Arsitektur, Universitas Malikussaleh

² Program Studi Teknik Fisika, Institut Teknologi Bandung

PENDAHULUAN

Pencahayaan alami pada bangunan dapat memberikan dua manfaat positif terhadap konservasi energi dan performa pengguna. Pertama, penggunaan pencahayaan alami dapat secara langsung berdampak pada penghematan energi pada bangunan (Lechner 2007; Mediastika 2013; Ander 2016). Kedua, performa kesehatan pengguna bangunan juga mendapat manfaat langsung dari pencahayaan alami yang masuk ke dalam bangunan. Peningkatan kesehatan berpengaruh langsung pada perbaikan performa kerja sehingga bisa meningkatkan produktivitas dari pengguna bangunan (Lechner 2007; Mediastika 2013; Boubekri 2008; Hescong, Wright, and Okura 2000). Dua dampak signifikan ini dari hadirnya pencahayaan alami ini patut diperhatikan pada desain bangunan.

Salah satu cara yang dapat secara langsung menghadirkan pencahayaan alami ke dalam bangunan adalah dengan memperhatikan desain fasad dari bangunan. Elghazi et al. (2014) menekankan pentingnya desain fasad yang baik untuk mendapatkan pencahayaan alami yang optimal ke dalam bangunan. Untuk desain kulit bangunan sendiri didapatkan beberapa cara, baik itu dengan kulit bangunan tunggal maupun kulit bangunan ganda. Keuntungan desain bangunan kulit ganda adalah dapat mengurangi panas akibat paparan sinar matahari (Dewi, Huang, dan Nugroho 2013). Hal ini tentunya memberikan keuntungan untuk dapat memasukkan cahaya lebih banyak dengan menghindari panas dari sinar matahari.

Studi sebelumnya yang dilakukan oleh Atthailah, Wijayanti, dan Hassan (2018) dengan prinsip kulit ganda, membandingkan tiga jenis performa fasad pada gedung Prodi Arsitektur Universitas Malikussaleh, Lhokseumawe menunjukkan bahwa fasad dengan desain bilah horizontal memberikan kontribusi yang lebih baik untuk distribusi cahaya alami ke dalam bangunan dibandingkan dengan bilah vertikal dan fasad berpori. Pada studi tersebut pengujian dilakukan dengan *Climate Based Daylight Modeling* (CBDM) menggunakan metrik *Useful Daylight Illuminance* (UDI). Seterusnya, pada penelitian tersebut bilah horizontal didesain tanpa sudut rotasi.

CBDM digunakan karena dalam simulasi menggunakan data cuaca terkait lokasi spesifik dengan kondisi langit dinamis dengan demikian diharapkan bisa mendapatkan hasil pengukuran yang lebih tepat. Ada dua metrik utama dalam CBDM yaitu *Daylight Autonomy* (DA) dan *Useful Daylight Illuminance* (UDI). Preferensi terhadap UDI pada studi ini dilakukan karena metrik tersebut memberikan batasan-batasan nilai iluminansi untuk kondisi cahaya tidak cukup ($UDI < 100$ Lux), kondisi optimal ($UDI 100-2000$ Lux) dan kondisi kelebihan cahaya ($UDI > 2000$ Lux). Hal ini tidak didapatkan pada DA yang menentukan batas bawah saja.

Namun demikian, riset yang dilakukan oleh Vichuda, Pipat, dan Pattana (2014) menunjukkan bahwa rotasi bilah memiliki peran memperbaiki distribusi pencahayaan alami ke dalam bangunan. Jarak antar bilah dan ukuran bilah merupakan hal penting lainnya yang dapat membantu memperbaiki kondisi pencahayaan alami ke dalam bangunan. Lebih jauh, Mangkuto et al. (2019) mengatakan bahwa ukuran lebar bilah dan jarak antar bilah juga dapat mempengaruhi kinerja pencahayaan alami dalam bangunan. Untuk itu, riset ini melakukan optimisasi pencahayaan alami pada desain fasad bilah horizontal, kulit berganda, dengan menambahkan parameter rotasi bilah dan jarak serta ukuran lebar bilah dengan metrik UDI di Kota Lhokseumawe.

Metrik UDI sesuai standar yang telah ditetapkan oleh Nabil dan Mardaljevic (2005) digunakan pada penelitian ini dengan beberapa alasan. Pertama, studi validasi metrik khususnya CBDM masih sangat terbatas ditemukan diantaranya Mangkuto et al. (2016). Studi tersebut dilakukan di Bandung dengan subjek mahasiswa dan berpendapat bahwa standar iluminansi lebih relevan dengan kondisi subjek. Namun, hasil dari riset tersebut belum dapat digeneralisasi untuk digunakan pada konteks Indonesia secara keseluruhan karena jumlah subjek yang terbatas

dan hanya dilakukan pada satu lokasi untuk usia subjek yang terbatas pula. Sementara, validasi metrik pada ruang kelas sekolah tingkat dasar sebagaimana menjadi intensi pada artikel ini tidak ditemukan.

METODE

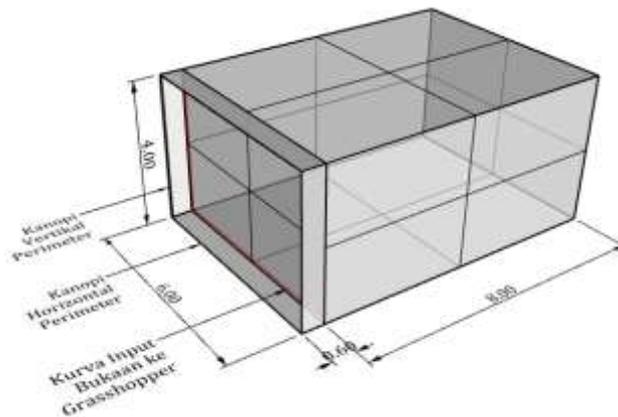
Penelitian ini menggunakan metode komputasi parametrik dengan *evolutionary solver (ES)* atau *Genetic Algorithm (GA)* untuk optimisasi desain fasad horizontal. Parametrik dapat didefinisikan sebagai suatu metode memecahkan persoalan, dalam hal ini permasalahan desain, dengan menggunakan algoritma. Sedangkan, algoritma dapat didefinisikan sebagai kumpulan instruksi-instruksi tertentu yang memiliki suatu prosedur komputasi untuk memproses data dan melakukan tugas-tugas tertentu guna memecahkan permasalahan yang diberikan (Tedeschi 2014; Khabazi 2012; Holst 2013). Menurut Mangkuto (2019) ES atau GA adalah sebuah metode optimisasi komputasi untuk mencari solusi terhadap suatu permasalahan dengan prinsip evolusi biologis seperti mutasi, seleksi dan persilangan. Sementara optimisasi dapat diartikan sebagai proses seleksi hal yang terbaik dari suatu kelompok solusi atau alternatif-alternatif solusi (Mangkuto 2019).

Algoritma yang dimaksud pada penelitian ini adalah algoritma visual menggunakan *Grasshopper*. *Grasshopper* merupakan antar muka pemrograman visual, *node-based*, pada aplikasi *Rhinoceros* yang diciptakan pertama sekali oleh David Rutten dengan nama awal *Explicit History* pada tahun 2007, kemudian di 2008 nama *Grasshopper* diperkenalkan (Tedeschi 2014; Holst 2013). Sementara, GA yang dimaksud adalah *Galapagos*, oleh David Rutten, yang merupakan *solver* optimisasi *single objective* yang terintegrasi pada *Grasshopper*. *Galapagos* sendiri terdiri prinsip-prinsip evolusi seperti kelaikan, seleksi, penggabungan, peleburan dan mutasi (Rutten 2010).

Selain hal diatas, pada riset ini *Ladybug Tools* digunakan untuk pemodelan objek dan simulasi untuk pencahayaan alami. *Ladybug Tools*, terdiri dari *Ladybug* dan *Honeybee*, merupakan piranti lunak analisis lingkungan, seperti pencahayaan alami, radiasi, silau, kenyamanan termal dan analisis energi, yang berjalan dalam *Grasshopper* dan memiliki kapabilitas untuk terhubung ke mesin simulasi yang telah tervalidasi seperti *EnergyPlus*, *Radiance*, *Daysim* dan *OpenStudio* secara parametrik (Roudsari dan Pak 2013). Pada studi ini piranti tersebut digunakan untuk input pemodelan dan simulasi pencahayaan alami, tentunya, mesin simulasi yang digunakan hanya *Radiance* dan *Daysim*. Untuk memastikan objek disiapkan dengan benar dan dipastikan bisa digunakan untuk simulasi dengan *Ladybug Tools*, maka perlu diperhatikan unit pemodelan dalam *Rhinoceros* harus dalam satuan meter.

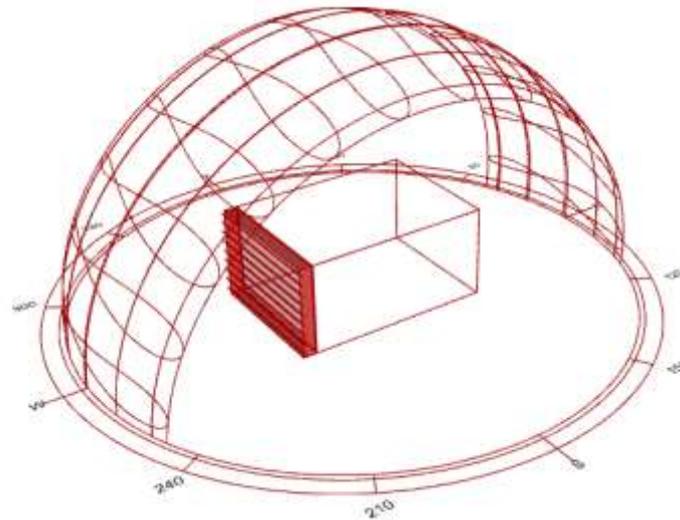
Selanjutnya, sebuah ruang kelas hipotetik untuk sekolah dasar dalam keadaan kosong dimodelkan, memiliki ukuran lebar 6,00 (enam) meter, kedalaman ruang 8,00 (delapan) meter serta tinggi 4,00 (empat) meter, digunakan pada studi ini dengan lokasi Kota Lhokseumawe (5°11'17" LU dan 97°8'25" BT). Ukuran ruang diatas diasumsikan berdasarkan hasil survey ukuran kelas pada 22 (dua puluh dua) sekolah dasar negeri yang ada di Kecamatan Banda Sakti Lhokseumawe, tidak ada kelas yang memiliki kedalaman ruang melebihi 8,00 meter dan tinggi ruangan melebihi 4,00 (empat) meter. Objek berada pada lokasi terbuka tanpa konteks serta memiliki bukaan hanya pada satu sisi saja dengan ukuran lebar 5,80 meter dan tinggi 3,80 meter. Ini menunjukkan bukaan yang digunakan pada kajian ini memiliki ukuran maksimal dan statis. Skenario bukaan dibuat hanya satu sisi bangunan dimaksudkan untuk melihat potensi optimal penyebaran pencahayaan alami jika yang tersedia hanya satu dinding bukaan saja. Kasus terdapat hanya satu bidang dinding yang tidak terhalangi ditemukan pada studi SD Negeri 1, 2 dan 6 Banda Sakti, Lhokseumawe (Atthailah and Bintoro 2019b; 2019a). Selain itu, hal ini bertujuan untuk dikombinasikan dengan desain kulit bangunan ganda yaitu bilah horizontal. Fasad ganda tersebut

memiliki jarak 0,6 meter dari bukaan dengan dikelilingi kanopi perimeter horizontal dan vertikal. Pemodelan untuk objek seperti dijelaskan dilakukan dengan *Rhinoceros Educational* versi 6. Dari pemodelan terlihat bahwa komponen bukaan kaca tidak dimodelkan pada *Rhinoceros*, melainkan hal ini dilakukan dengan menggunakan *Ladybug Tools* didalam *Grasshopper*. Namun, input kurva sebagai ukuran bukaan disediakan. Hasil pemodelan ditunjukkan seperti pada gambar 1.



Gambar 1. Pemodelan Objek Studi dengan *Rhinoceros* Dalam Unit Meter
Sumber: Olah Data (2020)

Berikutnya, logika pemodelan bilah horizontal dilakukan dengan menggunakan *Grasshopper* versi 1. Dua buah kurva pada sisi kiri dan kanan objek digunakan sebagai acuan untuk membuat bilah horizontal. Artinya, bilah horizontal memiliki panjang maksimum 6,00 (enam) meter yang disusun pada bidang yang memiliki ketinggian 4,00 (empat) meter. Ukuran lebar bilah ditentukan berdasarkan titik pembagian kurva kiri dan kanan yang menjadi input bilah horizontal. Ukuran minimal lebar bilah adalah 0,15 (nol koma lima belas) meter dan ukuran maksimalnya adalah 0,60 (nol koma enam puluh) meter selanjutnya ukuran lebar atau jarak bilah disimbolkan sebagai (l). Prinsip bilah horizontal ini jika tertutup sempurna maka tidak ada celah cahaya untuk masuk atau kondisi ini terjadi pada rotasi bilah dengan sudut 0 (nol) derajat. Sementara itu, parameter penentu sudut rotasi ditetapkan antara minus (-) 90,00 sampai positif (+) 90,00 derajat dengan angka dua desimal. Sudut -90,00 dan + 90,00 membuat rotasi bilah menjadi horizontal penuh. Sudut dengan angka positif lainnya membuat bilah terbuka ke atas sedangkan sudut negatif lainnya kearah sebaliknya. Selanjutnya, sudut disimbolkan dengan (α) pada riset ini. Gambar 2 menunjukkan hasil pemodelan bilah horizontal terpasang pada objek studi ($\alpha=45,00^{\circ}$, $l=0,45$) dengan diagram matahari untuk Kota Lhokseumawe.



Gambar 2. Pemodelan bilah horizontal dengan Grasshopper ($\alpha=45,00^\circ$, $l=0,45$) dengan diagram matahari Kota Lhokseumawe
Sumber: Olah Data (2020)

Setelah seluruh model selesai, maka tahap selanjutnya adalah mendefinisikan material untuk mesin simulasi *Radiance*. Untuk optimisasi pada riset ini material diberikan dengan pengaturan generik yang dimiliki aplikasi *Honeybee* dengan RGB *reflectance* (material non-transparan) dan RGB *Transmittance* untuk material kaca. Untuk material non-transparan juga memiliki properti *roughness* dan *specularity*, sedangkan untuk material transparan properti yang harus diinput lainnya adalah *refractive index* untuk menentukan tingkat transparan objek kaca. Mangkuto et al. (2019) telah menjelaskan definisi untuk parameter material tersebut dengan detail. Untuk memudahkan penjelasan dan konsistensi pembahasan maka untuk RGB *reflectance* dituliskan *Rref*, *Gref* dan *Bref* serta *r* untuk *roughness* dan *s* untuk *specularity* berlaku pada material non-transparan. Sedangkan untuk material transparan disimbolkan *Rtrans*, *Gtrans* dan *Btrans* serta *ri* untuk *refractive index*. Material dinding, plafon, lantai dan bilah horizontal merupakan material non-metal atau dalam *Radiance* disebut material dengan karakteristik plastik. Pengaturan properti material yang digunakan pada studi ini dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 1. Properti material *Radiance*

Komponen Bangunan	Rref	Gref	Bref	r	s	Rtrans	Gtrans	Btrans	ri
Dinding	0,500	0,500	0,500	0	0	-	-	-	-
Jendela	-	-	-	-	-	0,654	0,654	0,654	1.52
Plafon	0,800	0,800	0,800	0	0	-	-	-	-
Lantai	0,200	0,200	0,200	0	0	-	-	-	-
Bilah Horizontal	0,350	0,350	0,350	0	0	-	-	-	-

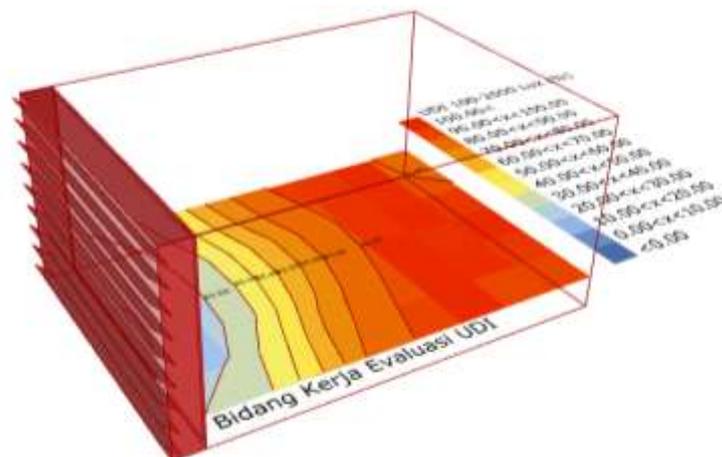
Sumber: Olah Data (2020)

Dengan objek dan pengaturan seperti telah dijelaskan, maka, studi ini mengevaluasi rotasi, jarak antar bilah dan lebar bilah yang paling optimal pada 4 (empat) orientasi utama dengan metrik UDI. Perlu penulis jelaskan pada skenario desain bilah horizontal seperti telah dijelaskan diatas, jarak dengan lebar bilah berlaku ukuran yang sama. UDI, yang merupakan metrik pengukuran cahaya alami dinamis dengan data meteorologi untuk lokasi spesifik, pertama sekali diusulkan oleh Nabil and Mardaljevic (2005) dengan tiga parameter penilaian untuk setiap titik ukur. Kondisi redup atau tidak cukup cahaya alami dengan kriteria $UDI < 100$ Lux (UDI_l), kondisi optimal UDI $100-2000$ Lux (UDI_o) serta kondisi tidak optimal akibat kelebihan cahaya yang berpotensi menimbulkan silau dan panas berlebihan kedalam ruangan yaitu $UDI > 2000$ Lux (UDI_a). UDI mengukur persentase waktu dalam satu tahun untuk target illuminansi yang telah dijelaskan

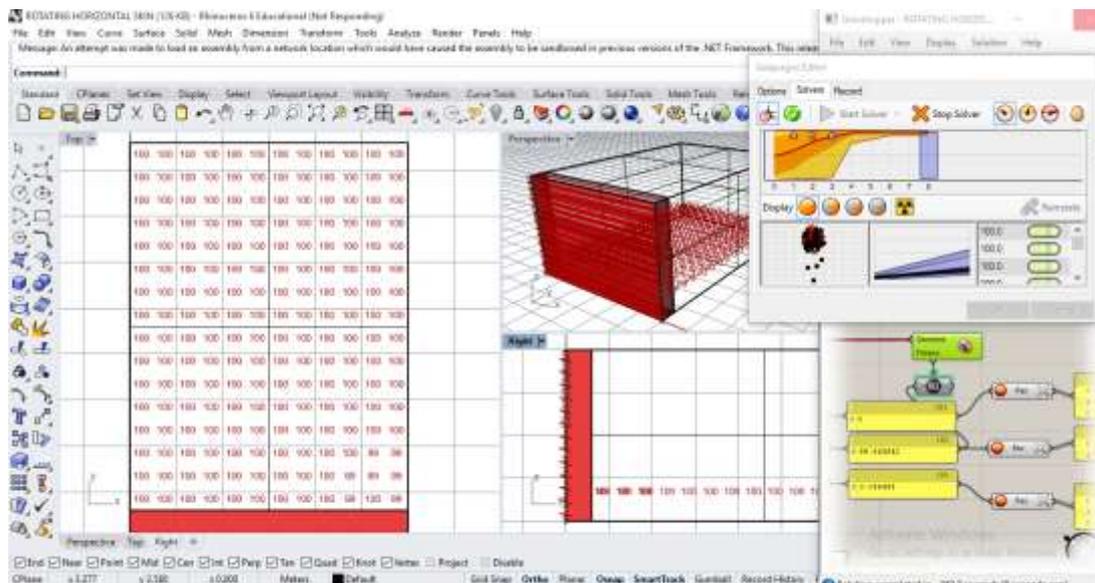
sebelumnya. Mengenai rentang optimal, re-evaluasi terhadap hal tersebut telah dilakukan dan mengindikasikan ada peningkatan nilai batas atas illuminance dari 2000 Lux menjadi 3000 Lux (Mardaljevic et al. 2012). Namun, karena studi tersebut fokus pada tipologi bangunan residensial, maka untuk optimisasi pada penelitian ini tetap menggunakan rentang optimal 100-2000 Lux.

CBDM dengan metrik UDI digunakan sebagai target optimisasi dengan konsiderasi bahwa metrik ini lebih praktis dan efisien untuk tujuan optimisasi *single objective* seperti yang dilakukan pada penelitian ini. Nilai praktis dan efisien didapatkan dengan mengoptimalkan terhadap nilai UDI_o , artinya nilai maksimal untuk rentang tersebut didapatkan, maka secara otomatis nilai untuk UDI_l dan UDI_a berkurang. Walaupun dengan *single objective*, namun, informasi kekurangan cahaya dan potensi panas berlebih serta informasi potensi silau bisa terindikasikan. Hal tersebut tidak bisa didapatkan dengan metrik CBDM lainnya yaitu *Daylight Autonomy (DA)* karena hanya menentukan batas bawah saja. Walaupun dalam prakteknya DA bisa dikombinasikan dengan *Annual Sunlight Exposure (ASE)* seperti studi yang ditunjukkan oleh Mangkuto (2019), namun untuk tujuan optimisasi *single objective* tidak praktis untuk dilakukan. Dengan kata lain jika ingin menggunakan DA dan ASE sekaligus maka optimisasi dapat dilakukan dengan *multi objective*. Hal ini tentunya tidak praktis sebagaimana intensi dari penelitian ini. Untuk itu metrik UDI dianggap praktis dan efisien untuk melakukan penelitian ini dengan optimisasi *single objective*.

Untuk optimisasi dengan *Galapagos* nilai kelaikan (*fitness*) yang ingin dioptimalkan adalah persentase rata-rata waktu dalam setahun yang paling maksimal untuk UDI_o , selanjutnya disebut $UDI_{o,avg}$. Untuk penyebutan rerata $UDI < 100$ Lux dan $UDI > 2000$ Lux berturut-turut menjadi $UDI_{l,avg}$ dan $UDI_{a,avg}$. Sementara, *genome* yang digunakan adalah parameter dan angka pengendali rotasi dan jarak serta lebar bilah horizontal dengan batasan numerik seperti telah dijelaskan sebelumnya. Tiga nilai UDI diterima oleh titik ukur dalam objek hipotetik yang dibuat dengan jarak antar titik 1,00 (satu) meter dengan elevasi 0,75 (nol koma tujuh lima) meter sebagai bidang kerja yang dievaluasi. Dengan pengaturan ini, simulasi untuk evaluasi pencahayaan alami dengan menggunakan metrik UDI sudah dapat dilakukan. Gambar 3 menunjukkan hasil simulasi pencahayaan alami dengan parameter $\alpha = 45,00^\circ$ dan $l = 0,45$ m serta orientasi ke Barat. Dengan skenario seperti ini penelitian ini mencari solusi optimum dengan *Galapagos* dari parameter α dan l untuk 4 (empat) orientasi arah mata angin utama. Gambar 4 Menunjukkan proses optimisasi dengan *Galapagos*.



Gambar 3. Hasil Simulasi dengan Parameter $\alpha = 45,00^\circ$, $l = 0,45$ m orientasi ke Barat serta Elevasi Bidang Kerja 0,75 meter dan Jarak antar Titik Ukur 1,00 meter
Sumber: Olah Data (2020)



Gambar 4. Proses Optimisasi dengan Galapagos (kanan) dengan Visualisasi Objek Studi Dan Nilai $UDI_{o.avg}$ (%) di Rhinoceros (kiri)

Sumber: Olah Data (2020)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah mendapatkan hasil optimisasi, maka, 10 (sepuluh) hasil terbaik untuk masing-masing orientasi dicatat. Hasil terbaik dicatat sebagai opsi (Opt.1) sedangkan Opt.10 merupakan opsi yang terbaik kesepuluh ditunjukkan pada tabel 2. Dari tabel terlihat bahwa semua sudut rotasi berangka negatif (-), hal ini mengindikasikan bahwa bilah terbuka ke bawah. Perlu dijelaskan bahwa hasil simulasi untuk orientasi Utara dan Selatan opsi yang mendapat nilai $UDI_{o.avg}$ 100% lebih dari sepuluh solusi. Sementara itu, hasil simulasi yang dituliskan pada tabel 2 merupakan solusi-solusi terbaik teratas pada Galapagos.

Tabel 2. Hasil Optimisasi Fasad Bilah Horizontal

Parameter	Opt. 1	Opt. 2	Opt. 3	Opt. 4	Opt. 5	Opt. 6	Opt. 7	Opt. 8	Opt. 9	Opt. 10
Hadap Utara										
α (°)	-86,44	-88,88	-86,97	-88,46	-87,55	-87,94	-88,35	-87,97	-87,27	-87,21
l (m)	0,48	0,44	0,45	0,43	0,46	0,43	0,43	0,43	0,43	0,45
$UDI_{o.avg}$ (%)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
$UDI_{l.avg}$ (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$UDI_{a.avg}$ (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hadap Selatan										
α (°)	-84,58	-83,37	-86,94	-84,57	-84,80	-85,51	-83,92	-84,13	-82,70	-82,78
l (m)	0,23	0,16	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,20	0,23
$UDI_{o.avg}$ (%)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
$UDI_{l.avg}$ (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$UDI_{a.avg}$ (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hadap Barat										
α (°)	-70,69	-71,95	-72,63	-71,66	-72,54	-71,32	-72,49	-71,26	-72,83	-72,72
l (m)	0,35	0,40	0,40	0,37	0,37	0,40	0,38	0,40	0,36	0,35
$UDI_{o.avg}$ (%)	98,56	98,40	98,35	98,33	98,32	98,29	98,27	98,19	98,15	98,04
$UDI_{l.avg}$ (%)	0,79	0,46	0,50	0,73	0,67	0,83	0,77	0,96	0,40	0,44
$UDI_{a.avg}$ (%)	0,58	1,08	1,10	0,85	0,92	0,81	0,81	0,77	1,42	1,42
Hadap Timur										
α (°)	-80,96	-79,10	-79,29	-82,80	-82,13	-81,50	-77,70	-81,24	-81,32	-81,29
l (m)	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,31	0,30	0,31
$UDI_{o.avg}$ (%)	99,33	99,25	99,23	99,21	99,17	99,16	99,13	99,06	99,04	99,02

Parameter	Opt. 1	Opt. 2	Opt. 3	Opt. 4	Opt. 5	Opt. 6	Opt. 7	Opt. 8	Opt. 9	Opt. 10
UDI _{L.avg} (%)	0,21	0,29	0,31	0,13	0,17	0,19	0,49	0,17	0,27	0,21
UDI _{a.avg} (%)	0,46	0,46	0,46	0,67	0,67	0,67	0,44	0,75	0,66	0,77

Sumber: Hasil Analisis (2020)

Dari hasil tersebut, terlihat bahwa terdapat pengaruh rotasi dan lebar bilah pada desain fasad dengan kulit ganda bilah horizontal untuk mengoptimalkan pencahayaan alami kedalam ruangan di Kota Lhokseumawe. Hal ini masih sejalan dengan apa yang diungkapkan oleh peneliti-peneliti sebelumnya (Vichuda, Pipat, and Pattana 2014; Mangkuto et al. 2019). Namun, untuk orientasi Utara dan Selatan pengaruh rotasi bilah didapatkan lebih kecil dibandingkan dengan orientasi Barat dan Timur. Bahkan sebagaimana disajikan pada hasil diatas terdapat sudut yang kurang dari dua derajat yaitu pada orientasi Utara Opt.2 dengan nilai $\alpha = -88,88^\circ$. Dalam konstruksi sudut dengan diferensiasi dua derajat tersebut bisa saja diabaikan, artinya bilah dapat dibuat horizontal penuh.

Perlu dijelaskan bahwa pada skenario penelitian ini nilai α dan l yang ditemukan saling terkait sehingga bisa mempengaruhi hasil simulasi. Berdasarkan asumsi tersebut penelitian ini mensimulasikan ulang dengan parameter bilah memiliki nilai $\alpha = -90^\circ$ atau 90° , $l = 0,43\text{m}$ dan $l = 0,22\text{m}$ pada orientasi Utara dan Selatan. Untuk parameter l merupakan angka yang paling sering muncul dan secara konstruksi masih dapat dibuat, namun perlu mempertimbangkan efisiensi dari material yang digunakan. Selain itu, untuk rasionalisasi konstruksi lebar bilah dibuat dengan $l = 0,45\text{m}$ dan $l = 0,20\text{m}$. Hasil simulasi dengan asumsi rasionalisasi konstruksi pada dua orientasi ini dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Simulasi Kombinasi Parameter Asumsi untuk Konstruksi Orientasi Utara dan Selatan

Orientasi	α (°)	l (m)	UDI _{o.avg} (%)	UDI _{L.avg} (%)	UDI _{a.avg} (%)
Utara	-90	0,22	100	0,00	0,00
	-90	0,43	100	0,00	0,00
	-90	0,20	100	0,00	0,00
	-90	0,45	100	0,00	0,00
Selatan	-90	0,22	99,60	0,00	0,40
	-90	0,43	99,88	0,00	0,12
	-90	0,20	99,94	0,00	0,06
	-90	0,45	99,96	0,00	0,04

Sumber: Hasil Analisis (2020)

Dari tabel 3 terlihat bahwa, untuk orientasi Utara kombinasi sudut 90 derajat dengan variasi lebar seperti pada tabel 3 masih merupakan solusi yang optimal. Sementara untuk orientasi Selatan, rasionalisasi tidak bisa memunculkan nilai optimal 100% untuk UDI_{o.avg} sehingga, jika dimungkinkan tetap menggunakan parameter-parameter seperti ditunjukkan pada tabel 2.

Selanjutnya, pada orientasi Timur nilai lebar dan jarak bilah relatif konsisten, sementara, untuk orientasi Barat, sudut rotasi, lebar dan jarak bilah bervariasi. Untuk orientasi Timur nilai α didapatkan mendekati ke sudut 80 derajat sedangkan untuk lebar berada pada angka 0,30m secara konsisten dari solusi-solusi yang telah dipilih. Sedangkan untuk orientasi Barat, angka sudut lebih mendekati 70 derajat dengan rentang lebar berada pada kisaran 0,35-0,40m. Angka-angka pada rentang tersebut kembali disimulasi dengan dengan asumsi rasionalisasi konstruksi seperti yang dilakukan pada orientasi Utara dan Selatan. Hasil simulasi tersebut dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Simulasi Kombinasi Parameter Asumsi untuk Konstruksi Orientasi Timur dan Barat

Orientasi	α (°)	l (m)	UDI _{o.avg} (%)	UDI _{L.avg} (%)	UDI _{a.avg} (%)
Timur	-80	0,30	99,29	0,29	0,44
Barat	-70	0,35	98,00	1,35	0,58
	-70	0,40	97,77	1,42	0,75

Sumber: Hasil Analisis (2020)

Dari tabel 4 terindikasi bahwa, pertama, untuk orientasi Timur kombinasi sudut minus 80 derajat dengan lebar bilah 0,30m masih merupakan solusi yang optimal dengan nilai UDI_{o.avg}

99,29%. Kedua, untuk orientasi Barat kombinasi sudut minus 70 derajat dengan lebar bilah 0,35m merupakan kombinasi yang lebih dianjurkan daripada opsi dengan lebar bilah 0,40m. Hal ini diakibatkan oleh penurunan nilai $UDI_{o,avg}$ yang signifikan yaitu menjadi 97,77%. Kombinasi tersebut tidak lebih baik dibandingkan dengan hasil simulasi pada tabel 2.

Solusi-solusi yang didapat dengan optimisasi GA pada studi ini menunjukkan solusi desain tidak terbatas pada satu solusi saja. Dari sudut pandang desain, hal ini sangat menguntungkan karena variasi desain dapat diciptakan tanpa mengorbankan performa yang diharapkan. Lebih jauh, studi ini menunjukkan bahwa hanya dengan satu bidang dinding bukaan solusi optimal untuk pencahayaan alami tetap dapat dicapai dengan desain fasad yang baik misalnya dengan kulit bangunan ganda seperti ditunjukkan pada studi ini. Selain keuntungan pencahayaan alami yang optimal desain fasad ganda juga bisa mengurangi panas berlebih pada bidang dinding (Dewi, Huang, and Nugroho 2013). Artinya, untuk sebuah ruang kelas pada sekolah dasar sebagaimana asumsi ruang hipotetik pada studi ini, permasalahan pencahayaan alami dapat diselesaikan seperti pada kasus-kasus penelitian pencahayaan alami pada sekolah dasar negeri di Kecamatan Banda Sakti Kota Lhokseumawe (Atthailah and Bintoro 2019a; 2019b).

KESIMPULAN

Ada beberapa solusi penting yang didapatkan dari hasil penelitian ini. Pertama, rotasi dan lebar bilah memiliki pengaruh penting dalam mendistribusi cahaya alami yang optimal kedalam ruangan dan hal ini senada dengan penelitian-penelitian terdahulu (Vichuda, Pipat, and Pattana 2014; Mangkuto 2019). Namun, untuk kondisi Kota Lhokseumawe hanya orientasi Utara yang dapat dirasionalkan dengan sudut bilah 90 derajat dengan lebar bilah 0,20m, 0,22m, 0,43m dan 0,45m. Sementara, untuk orientasi Selatan lebih dianjurkan dengan sudut dan lebar bilah seperti dipaparkan pada tabel 2. Selanjutnya, pada hadapan Timur dan Barat nilai optimal 100% tidak dapat ditemukan untuk semua kombinasi sudut rotasi dan lebar bilah horizontal. Sisi Timur lebih dapat dilakukan rasionalisasi rotasi dan lebar bilah dengan kombinasi $\alpha=-80$ dan $l=0,30m$. Kedua, variasi sudut untuk hadapan Utara dan Selatan memiliki variasi kecil dengan sudut bilah 90 derajat.

Ketiga, studi ini membuktikan untuk kasus ruang belajar dengan permasalahan satu sisi bukaan, cahaya alami optimal masih mungkin didapatkan dengan konfigurasi desain fasad seperti ditunjukkan pada penelitian ini untuk Kota Lhokseumawe. Kasus-kasus ruang belajar dengan satu sisi bukaan jendela telah ditemukan pada penelitian penulis sebelumnya (Atthailah and Bintoro 2019a; 2019b). Seperti telah disarankan oleh Dewi, Huang, dan Nugroho (2013), desain kulit ganda seperti dilakukan pada penelitian ini dapat memberikan manfaat lainnya yaitu dapat mengurangi *solar gain* dari dinding yang terpapar matahari terutama matahari tropis seperti di Kota Lhokseumawe.

Terakhir, metode optimisasi dengan GA seperti yang dilakukan pada penelitian ini dapat menghasilkan solusi desain yang variatif tanpa mengorbankan performa. Hal ini sangat berguna dari sudut pandang desain untuk menciptakan desain fasad yang tidak monoton atau seragam untuk seluruh orientasi. Tentunya, kondisi ini dapat meningkatkan nilai estika sekaligus performa pencahayaan alami pada desain-desain fasad terutama untuk tipologi bangunan pendidikan seperti sekolah.

DAFTAR REFERENSI

- Ander, Gregg D. 2016. "Daylighting." *Whole Building Design Guide (WBDG)*. 2016. <https://www.wbdg.org/resources/daylighting>.
- Atthailah, Atthailah, and Andik Bintoro. 2019a. "Useful Daylight Illuminance (UDI) Pada Sekolah Dasar Negeri 1 (Satu) Banda Sakti Lhokseumawe, Aceh." In *Temu Ilmiah Ikatan Peneliti Lingkungan Binaan Indonesia (IPLBI) 7*. <https://temuilmiah.iplbi.or.id/useful-daylight-illuminance-udi-pada-sekolah-dasar-negeri-1-satu-banda-sakti-lhokseumawe-aceh/>.
- . 2019b. "Useful Daylight Illuminance (UDI) Pada Ruang Belajar Sekolah Dasar Di Kawasan Urban Padat Tropis (Studi Kasus: SD Negeri 2 Dan 6 Banda Sakti, Lhokseumawe, Aceh, Indonesia)." *LANGKAU BETANG: JURNAL ARSITEKTUR* 6 (2): 72. <https://doi.org/10.26418/lantang.v6i2.33940>.
- Atthailah, Suhartina Wijayanti, and Soraya Masthura Hassan. 2018. "Simulasi Desain Fasad Optimal Terhadap Pencahayaan Alami Pada Gedung Prodi Arsitektur Universitas Malikussaleh." *EMARA: Indonesian Journal of Architecture* 4 (1): 21–29. <https://doi.org/10.29080/emara.v4i1.228>.
- Boubekri, M. 2008. *Daylighting, Architecture and Health: Building Design Strategies*. Oxford: Elsevier.
- Dewi, Cynthia Permata, Rong -Yau Huang, and Agung Murti Nugroho. 2013. "Strategi Double Skin Fasade Pada Bangunan Kampus National Central University Dalam Menurunkan Kebutuhan Energi Pendinginan." *Review of Urbanism and Architectural Studies* 11 (2): 51–59. <https://doi.org/10.21776/ub.ruas.2013.011.02.6>.
- Elghazi, Y., A; Wagdy, S; Mohamed, and A Hassan. 2014. "Daylighting Driven Design : Optimizing Kaleidocycle Facade For Hot Arid Climate." In *German-Austrian IBPSA Conference*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3198.4408>.
- Heschong, L, R Wright, and S Okura. 2000. "Daylighting and Productivity: Elementary School Studies," in *Efficiency and Sustainability*. Washington.
- Holst, Rasmus. 2013. "Think, Script, Build." Denmark: Technical University of Denmark.
- Khabazi, Zubin. 2012. "Generative Algorithm Using Grasshopper." *Morphogenesisism*. <http://www.grasshopper3d.com/page/tutorials-1>.
- Lechner, Norberg. 2007. *Heating, Cooling, Lighting: Strategi Desain Untuk Arsitektur*. 2nd ed. Jakarta: PT Raja Grafindo Persada.
- Mangkuto, Rizki A. 2019. *Pemodelan Dan Simulasi Pencahayaan Alami Dalam Bangunan Di Indonesia*. Bandung: ITB Press.
- Mangkuto, Rizki A, A.D. Asri, M Rohmah, F.X.N Soelami, and R.M. Soegijanto. 2016. "Revisiting the National Standard of Daylighting in Indonesia: A Study of Five Daylit Spaces in Bandung." *Solar Energy* 126: 276–90. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.01.022>.
- Mangkuto, Rizki A, D.K. Dewi, A.A. Herwandani, M.D. Koerniawan, and Faridah Faridah. 2019. "Design Optimisation on Internal Shading Device in Multiple Scenarios: Case Study in Bandung, Indonesia." *Journal of Building Engineering* 24. <https://doi.org/10.1016/j.job.2019.100745>.
- Mardaljevic, J, M Andersen, N Roy, and J Christoffersen. 2012. "Daylighting Metrics for Residential Buildings."
- Mediastika, Christina. E. 2013. *Hemat Energi Dan Lestari Lingkungan Yogyakarta: CV Andi Offset*.
- Nabil, A., and J. Mardaljevic. 2005. "Useful Daylight Illuminances: A New Paradigm for Assessing Daylight in Building." *Lighting Research and Technology*. <https://doi.org/10.1191/1365782805li128oa>.
- Roudsari, Mostapha Sadeghipour, and Michelle Pak. 2013. "Ladybug: A Parametric Environmental Plugin For Grasshopper to Help Designers Create An Environmentally-Conscious Design." In *13th Conference of International Building Performance Simulation Association*, 3128–35. Chambery.
- Rutten, David. 2010. "Evolutionary Principles Applied to Problem Solving - Grasshopper." 2010. <https://www.grasshopper3d.com/profiles/blogs/evolutionary-principles>.
- Tedeschi, Arturo. 2014. *AAD-Algorithms-Aided Design: Parametric Strategies Using Grasshopper*. Brienza: Le Penseur.
- Vichuda, M, C Pipat, and R Pattana. 2014. "An Enhancement of The Daylighting From Side-Window Using Two-Section Venetian Blind." In *5th International Conference on Sustainable Energy and Environment (SEE 2014)*, 362–67.