

PENERAPAN BATU BATA *INTERLOCK* NON-BAKAR DARI TANAH LATERIT GUNA OPTIMALISASI PENCAHAYAAN ALAMI PADA BANGUNAN

(Studi Kasus: Rumah Kost di Kota Bogor)

Citra Mu'minazahra¹, Abdul Robbi Maghzaya¹, Fahmi Khoirun Aziza¹

¹ Jurusan Arsitektur, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, Indonesia

¹ Surel: 19512095@students.uii.ac.id

ABSTRAK: *Arsitektur berkelanjutan merupakan salah satu upaya dalam meminimalisir dampak negatif lingkungan dari suatu bangunan dengan peningkatan efisiensi dan pemilahan dalam penerapan material. Salah satu contoh penciptaan material ramah lingkungan ialah Batu bata non-bakar (Unfired Bricks) yang mampu menjadi inovasi baru sebagai alternatif bahan bangunan. Adapun eksisting terpilih berupa kos-kosan dan rumah petak, namun plotting massa dan tata ruang yang kurang baik menyebabkan minimnya pencahayaan yang masuk ke dalam ruang sehingga mengharuskan penghuni terus menyalakan lampu bahkan di siang hari sekalipun. Peneliti mencoba untuk memecahkan permasalahan tersebut dengan menerapkan tiga trik penyesuaian dan didapati hasil pencahayaan yang optimal sesuai dengan standar setelah diuji menggunakan Velux Daylight Visualizer.*

Kata Kunci: Arsitektur berkelanjutan, Batu bata non-bakar, Pencahayaan.

PENDAHULUAN

Batu bata merupakan salah satu material bangunan paling umum dan sering kita jumpai di sekitar kita. Batu bata berperan sebagai material dalam pembuatan dinding atau tembok dari sebuah bangunan. Bahan dasar batu bata umumnya berasal dari tanah liat yang dibentuk dan dibakar pada suhu tertentu hingga menjadi keras, sekalipun terkena air ia tidak akan melunak kembali pada sifat semula. Dalam proses pembuatannya bata sering kali mengalami gagal produksi dikarenakan hasil pembakaran yang kurang maksimal. Tidak hanya perihal proses pembakaran, banyak faktor yang memengaruhi gagalnya produksi batu bata seperti jenis tanah, komposisi adukan tanah, dan proses penjemuran (Purwandhito, 2017:5).

Dalam buku James Steele *Sustainable Architecture*, Arsitektur berkelanjutan bermakna sebagai sebuah konsep perancangan yang mampu memenuhi kebutuhan tanpa mengancam keberlangsungan generasi di masa depan. *Sustainable Architecture* juga dipahami sebagai cara untuk meminimalisir dampak negatif lingkungan dari bangunan dengan peningkatan efisiensi dan pemilahan dalam penerapan ruang, energi, dan material. Kesadaran akan keberlangsungan lingkungan menjadi konsep dasar yang dipenuhi untuk membuat pembangunan yang memperhatikan kelestarian generasi mendatang. Salah satu upaya dalam mewujudkan *sustainable building* ialah memanfaatkan sumber daya yang ada seperti halnya *Adaptive Reuse*. *Adaptive Reuse* adalah proses transformasi bangunan yang memanfaatkan kembali sumber daya yang ada kemudian disesuaikan dengan kegunaan yang baru agar menjadi lebih efektif (Shao dkk, 2018).

Adapun studi kasus bangunan berupa tiga gubahan yang memiliki fungsi berbeda yakni warung, kos-kosan, dan konveksi. Ketiganya perlu disikapi lebih lanjut lantaran minimnya pencahayaan yang masuk pada ruang sehingga menimbulkan ketidaknyamanan penggunaannya. Atas dasar tersebut, studi kasus bangunan terpilih memiliki potensi untuk dikaji lebih lanjut guna mengoptimalkan pencahayaan alami pada ruang, sehingga

dirumuskan pertanyaan (1) Bagaimana cara batu bata *interlock* mampu mengatasi isu pencahayaan tersebut? ; (2) Bagaimana dampak yang dihasilkan dari teknologi yang diterapkan pada bangunan?

Penelitian ini menjadi penting untuk meninjau bagaimana batu bata *interlock* non-bakar dari tanah laterit bisa mengoptimalkan pencahayaan alami terhadap bangunan pada studi kasus terpilih.

STUDI LITERATUR

Peneliti melakukan studi literatur untuk mengkonfirmasi data lapangan dengan meninjau karakteristik batu bata non-bakar dan tanah laterit, dan standar kenyamanan pencahayaan ruang yang mengacu pada *Illuminating Engineering Society (IES)* dan Kepmenkes Nomor 1405 Tahun 2002 juga dilengkapi panduan dari Dinas Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) tahun 2020.

a. Karakteristik batu bata non-bakar dan tanah laterit

Bata tidak dibakar (*Unfired Bricks*) merupakan batu bata yang terbuat dari tanah lempung atau tanah liat dengan penambahan zat tertentu. Proses pengeringan bata juga tidak dilakukan seperti biasanya (dibakar) melainkan melalui proses pengeringan oleh angin. Adapun media pengikat antar bata bisa menggunakan mortar ataupun sejenisnya dan bata jenis ini masih memungkinkan untuk dilakukan proses pengecatan. (Amazian, 2018). Meski jenis bata non-bakar ini belum lumrah di kalangan masyarakat, bata ini bisa menjadi salah satu solusi alternatif bahan konstruksi yang ramah lingkungan (Maryunani, Arnandha, 2009). Keuntungan yang diraih dari proses pengeringan bata non-bakar ini antara lain mampu menghilangkan polusi udara yang disebabkan oleh proses pembakaran pada bata biasa, dan dengan tidak menggunakan kayu juga akan mampu mengurangi biaya produksi bata karena tidak lagi melewati proses pembakaran (Maryunani, Arnandha, 2009). Dari segi kuantitas produksi, batu bata non-bakar bisa menjadi pilihan yang tepat lantaran tidak ada batas terkait kapasitas bata yang bisa dimasukkan pada tungku yang digunakan pada saat pembakaran. Hal ini merupakan salah satu bukti bahwa bata non-bakar bersifat ramah lingkungan

Salah satu jenis tanah yang cocok diterapkan bahan baku bata non-bakar adalah tanah laterit. Tanah laterit dikenal juga sebagai tanah merah dimana warna tersebut disebabkan oleh aluminium dan zat besi yang banyak terdapat didalamnya. Tanah ini tergolong tanah tidak subur dan berumur tua sehingga bata non-bakar dari tanah laterit dinilai mampu menyerap kelembaban.

b. Standar kenyamanan pencahayaan ruang menurut IES dan PUPR

Dikutip dari IES (*Illuminating Engineering Society*), suatu area kerja dapat dikatakan memiliki pencahayaan yang optimal jika iluminasi ruangnya adalah 300 lux. Ruang yang memiliki pencahayaan yang kurang atau lebih dari 300 lux akan mengakibatkan rasa tidak nyaman bahkan menurunkan kinerja para pengguna (Rahmayanti & Artha, 2016). Berikut merupakan standar tingkat pencahayaan menurut IES dilengkapi panduan dari PUPR terkait pencahayaan rumah tinggal.

Tabel 1: Standar tingkat pencahayaan berdasarkan aktivitas menurut IES

No	Rentang Iluminasi (Lux)	Jenis Aktivitas
1	20-30-50	Area publik berlingkungan gelap
2	50-75-100	Tempat kunjungan singkat
3	100-150-200	Ruang ublik, tugas visual jarang
4	200-300-500	Tugas visual berkontras tinggi
5	500-750-1000	Tugas visual berkontras sedang

6	1000-1500-2000	Tugas visual berkontras rendah
7	2000-3000-5000	Tugas visual berkontras rendah dalam waktu lama
8	5000-7500-10000	Tugas visual sangat teliti dalam waktu sangat lama
9	10000-15000-20000	Tugas visual khusus berkontras sangat rendah dan kecil

Tabel 2: Standar tingkat pencahayaan rumah tinggal menurut panduan PUPR

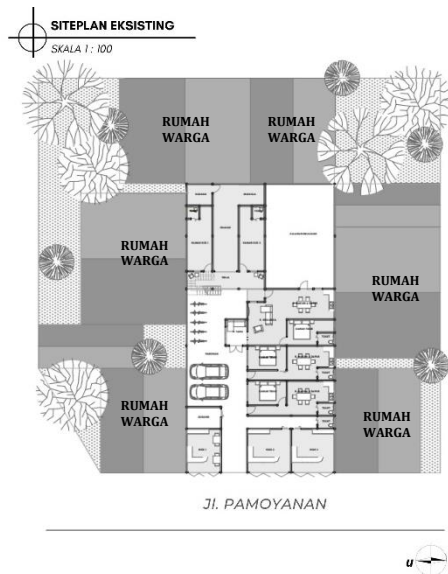
No	Rentang Iluminasi (Lux)	Jenis Ruang
1	60	Teras
2	120-150	Ruang Tamu
3	120-250	Ruang Makan
4	120-250	Ruang Kerja
5	120-250	Kamar Tidur
6	250	Kamar Mandi
7	250	Dapur
8	60	Garasi

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan tiga metode utama yakni deskriptif, observasi, dan studi literatur. Melalui metode penelitian deskriptif peneliti berusaha menggambarkan situasi atau kejadian yang bersifat kuantitatif dan kualitatif dimana hal tersebut diraih berdasarkan perolehan data dari data yang ada. Metode observasi dilakukan dengan mengamati dan mendokumentasikan studi kasus terpilih berupa rumah kost di Bogor yang menunjang pembahasan sesuai dengan rumusan masalah yang telah ditentukan. Buku-buku yang menunjang terkait karakteristik batu bata non-bakar, karakteristik tanah laterit, teknologi dan susunan batu bata *interlock*, dan standar kenyamanan pencahayaan ruang yang mengacu pada *Illuminating Engineering Society (IES)* dan Kepmenkes Nomor 1405 Tahun 2002 juga dilengkapi panduan dari Dinas Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) tahun 2020 menjadi strategi dalam studi literatur.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Rumah kost bisa diartikan sebagai satu pilihan jasa tempat tinggal sementara (Gian, 2019) dimana eksisting site berupa tiga gubahan massa yang memiliki fungsi yang berbeda yakni kios, rumah petak, dan konveksi. Menurut Schmidt, 2010 strategi adaptasi bangunan terbagi menjadi enam, diantaranya perubahan unit *furniture (adjustable)*, perubahan tata ruang (*versatile*), perubahan performa komponen (*refitable*), perubahan fungsi (*convertible*), perubahan ukuran (*scalable*). *Adaptive reuse* akan lebih maksimal jika perancang mampu memaksimalkan penerapan dari ke enam jenis adaptasi tersebut.



Gambar 1: Siteplan Eksisting
Sumber: Dokumen Pribadi



Gambar 2: Denah Eksisting
Sumber: Dokumen Pribadi

Dari gambar 1 diketahui jika bangunan eksisting langsung berdampingan dengan rumah warga di sekitarnya sehingga dengan plotting seperti ini pencahayaan alami kurang dimaksimalkan. Berdasarkan data observasi, pengguna setempat juga sempat memaparkan jika mereka selalu menyalakan lampu selama hampir satu hari penuh karena kondisi ruang yang gelap. Selain permasalahan pencahayaan, plotting massa yang kurang sesuai seperti ini mengakibatkan sirkulasi kendaraan tidak lancar dan kesulitan untuk melakukan manuver. Maka dari itu pada gambar 2 ditunjukkan denah eksisting yang telah ditentukan zona merah (penghancuran ruang) dan zona kuning (alih fungsi ruang). Tentu saja keduanya dilakukan bukanlah tanpa alasan, melainkan karena zona ruang yang ditandai merah telah menyalahi aturan sempadan jalan dan mengganggu manuver kendaraan. Adapun zona ruang yang ditandai warna kuning berupa konveksi akan dialih fungsikan menjadi kamar kos berdasarkan permintaan pemiliknya agar lebih menghasilkan.



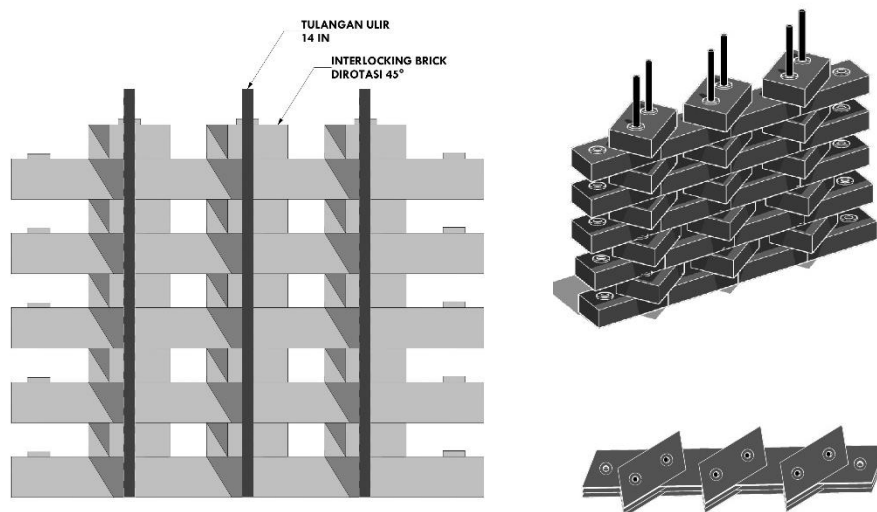
Gambar 3: Suasana tampak depan bangunan
Sumber: Dokumentasi Pribadi



Gambar 4: Denah rancangan
 Sumber: Dokumen Pribadi

Gambar 5: Bagian dinding yang diterapkan
 bata interlock
 Sumber: Dokumen Pribadi

Setelah zona merah dihilangkan, bangunan pun dirancang kembali dengan membagi menjadi dua massa A (unit rumah petak) dan B (unit kos-kosan) yang bisa dilihat pada gambar 4. Ditinjau dari kondisi gubahan sekiranya tidak memungkinkan untuk adanya pergeseran unit sehingga lebih difokuskan pada mengoptimalkan plotting ruang yang ada. Meskipun eksisting bangunan berada di lahan terbatas yang berbatasan langsung dengan rumah warga di sampingnya namun masih ada cara untuk memaksimalkan pencahayaan alami, yakni dengan membuat beberapa bagian menjadi void untuk membuat celah agar cahaya datang dari atas. Pada gambar 5 ditunjukkan bagian dinding yang akan diterapkan teknologi bata interlock untuk memaksimalkan penanggulangan isu yang ada.



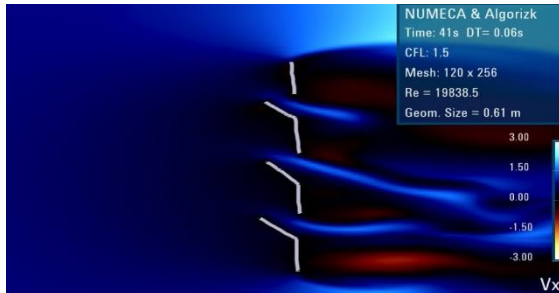
Gambar 6: Susunan bata interlock Stretcher
 Sumber: Dokumen Pribadi

Upaya kedua ialah menerapkan pasangan batu bata interlock pada dinding-dinding yang telah ditentukan pada Gambar 6 dimana pencahayaan alami yang masuk ke melalui lubang-lubang pada dinding, sehingga susunan batu bata *stretcher bond* yang menyisakan lubang 3 cm sebagai ventilasi menjadi solusi yang pas sebagai dinding bangunan di daerah beriklim tropis. Batu bata interlock ini dipesan dengan ukuran 44x12 cm dengan lubang pengunci di bagian kanan-kirinya yang timbul ±1 cm. Adanya lubang pada bagian tengah bata menjadi media untuk besi ulir dan bagian timbul yang dihasilkan tersebut menjadi media pengunci antar bata sehingga pasangan bata tidak memerlukan mortar yang banyak dalam pemasangannya. Selain itu bata ini mampu menahan gaya horizontal dan vertikal sehingga pasangan bata mampu merekat dengan sempurna.

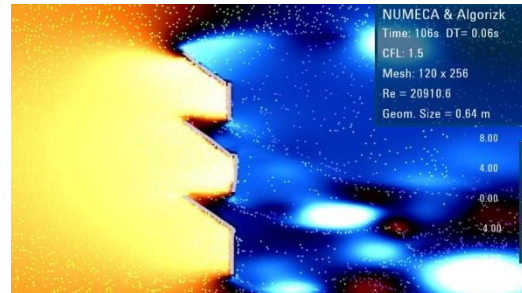
Tabel 3: Nilai U-value susunan bata Interlock Stretcher bond

Uvalue	1/R					
	R = T/K					
BATA INTERLOCK	MATERIAL	T	K	R	L	L TOTAL
	UDARA LUAR			0,44	0,428571	
	INTERLOCK BRICK	0,01	0,6	0,006		
	UDARA DALAM			0,12		
		R		0,566		
		Uw		1,132		0,428571429
UDARA	MATERIAL	T	K	R	L	L TOTAL
	UDARA LUAR			0,44	0,571429	
	UDARA DALAM			0,12		
		R		0,56		0,285714286
BATA TERLUAR	MATERIAL	T	K	R	L	L TOTAL
	UDARA LUAR			0,44	0,571429	
	INTERLOCK BRICK	0,01	0,6	0,006		
	UDARA DALAM			0,12		
		R		0,566		
		Uw		1,132		0,285714286
						L KESELURUHAN
						1
HASIL	DIDAPATKAN NILAI R	1/R BATA INTERLOCK + R UDARA + BATA TERLUAR				
		1,141198529				

Sumber: Dokumen Pribadi

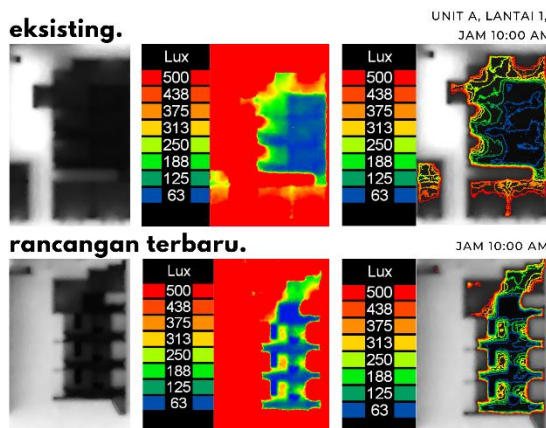


Gambar 7: Pengujian batu bata interlock
 Sumber: Dokumen Pribadi

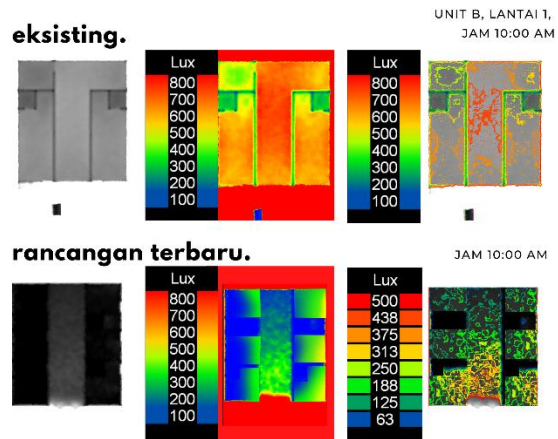


Gambar 8: Pengujian batu bata interlock
 Sumber: Dokumen Pribadi

Pada gambar 7 dan gambar 8 merupakan pengujian susunan batu bata *interlock* dengan susunan *stretcher bond* menggunakan Wind Tunnel. Dari gambar 7 didapati bahwa dengan susunan demikian batu bata masih mampu meneruskan angin alami melalui lubang yang dihasilkan diantara pasangan batu batanya, sedangkan pada gambar 8 merupakan grafik pengujian radiasi panas dimana dengan pemilihan bahan dasar dari tanah laterit yang disusun *stretcher bond* mampu meminimalisir udara panas dari luar bangunan.

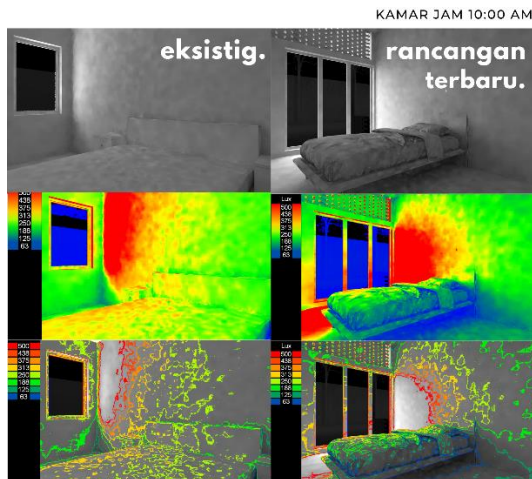


Gambar 9: Pengujian velux unit A
 Sumber: Dokumen Pribadi

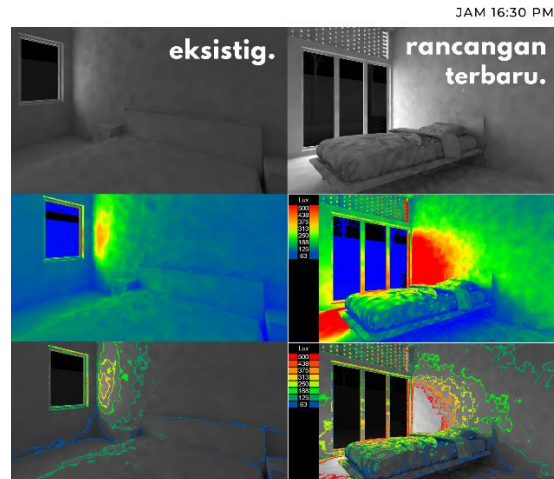


Gambar 10: Pengujian velux unit B
 Sumber: Dokumen Pribadi

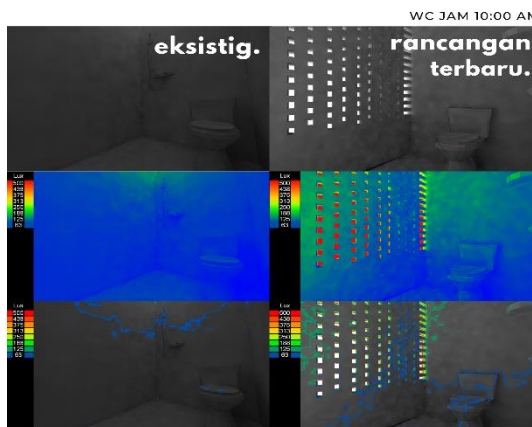
Dikarenakan massa gubahan *eksisting* langsung berdampingan dengan rumah warga hal ini membuat setiap kamar didominasi warna biru yang menyatakan kurangnya pencahayaan baik pada unit A ataupun B. Pada gambar 9 dan gambar 10 merupakan grafik hasil pengujian model rancangan menggunakan velux yang disandingkan langsung dengan unit *eksisting* sehingga nampak jelas perubahan pada setiap unitnya. Terlihat pada gambar keduanya bahwa setelah diterapkan interlock brick pada setiap kamar membuat pencahayaan berada pada kisaran 250 lux dan angka tersebut sudah memenuhi standar sebesar 150-250 lux merujuk pada tabel 1 berdasarkan IES dan tabel 2 berdasarkan panduan PUPR.



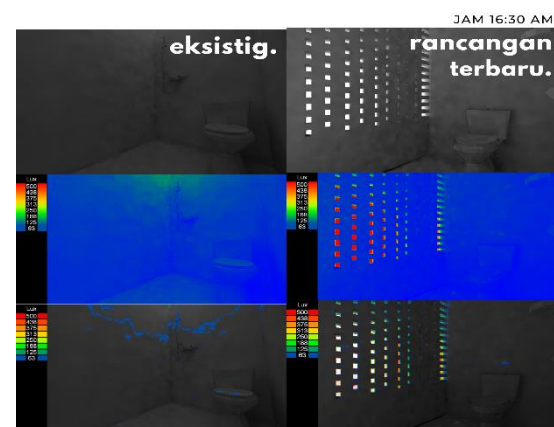
Gambar 11: Penguji velux kamar unit A
Sumber: Dokumen Pribadi



Gambar 12: Penguji velux kamar unit A
Sumber: Dokumen Pribadi



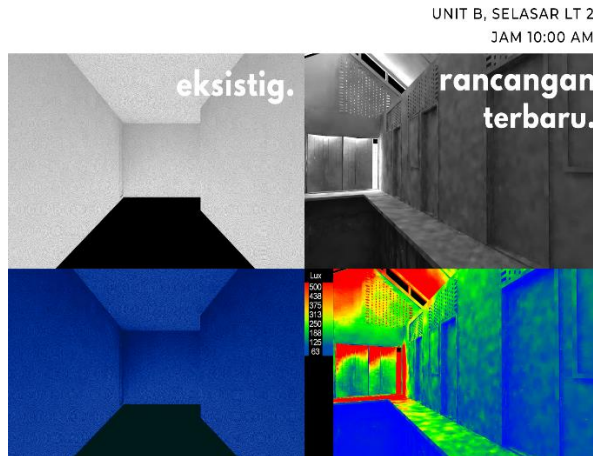
Gambar 13: Penguji velux pada toilet
Sumber: Dokumen Pribadi



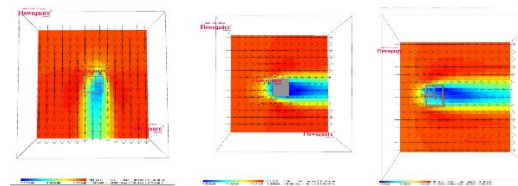
Gambar 14: Penguji velux pada toilet
Sumber: Dokumen Pribadi

Selain itu massa eksisting setiap kamar memiliki bukaan jendela yang minim dan tidak ada ventilasi berupa roster. Kemudian pada rancangan terbaru disiasatkan membuat bukaan jendela yang lebih lebar dan menerapkan pemasangan batu bata *interlock* sebagai jalur ventilasi sekaligus pencahayaan pada atas jendela kamar. Hal tersebut bisa dilihat pada gambar 11 dan 12 dimana kedua penguji tersebut berbeda jam pengujiannya. Pada gambar 11 merupakan penguji pertama yang dilakukan pada jam 10:00 pagi, kamar didominasi oleh warna hijau dengan kisaran angka 250 lux. Begitu juga pada penguji yang kedua yang dilakukan sore hari tepatnya jam 16:30 sore. rancangan yang terbaru membuktikan dengan adanya solusi desain tersebut masih mampu mengoptimalkan pemasukkan cahaya dengan stabil sepanjang hari sedangkan *eksisting* tidak.

Pada gambar 13 dan gambar 14 merupakan penguji ruang toilet dengan jam uji yang berbeda dimana gambar 13 diuji pada jam 10:00 dan gambar 14 pada 16:30. *Eksisting* toilet terdiri dari tembok masif dan hanya terdapat bukaan sempit berupa hexos, sehingga pada gambar *eksisting* diperlihatkan jika cahaya kehijauan muncul dari atas sebagaimana hexos berada. Namun pada rancangan terbaru plotting ruang toilet berdampingan langsung dengan halaman kamar yang tidak memiliki naungan di atasnya (void) sehingga diterapkan pasangan bata *interlock* di sisi yang berdampingan langsung dengan halaman dan mendapatkan asupan cahaya yang lebih baik dari sebelumnya.

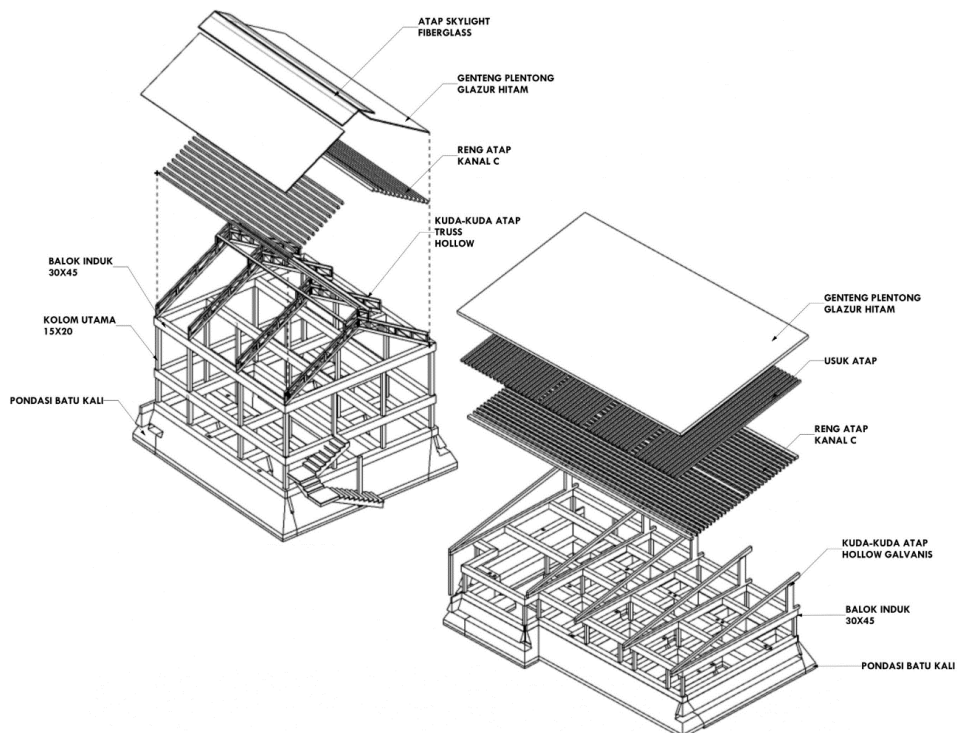


Gambar 15: Pengujian velux selasar unit B
 Sumber: Dokumen Pribadi



Gambar 16: Pengujian flowsquare unit kamar
 Sumber: Dokumen Pribadi

Pada gambar 15 *eksisting* dahulunya berupa konveksi yang tidak memiliki sekat apapun, ruangnya cenderung gelap karena bukaan jendela hanya terdapat pada bagian depan sedangkan pada rancangan terbaru lt.2 unit B dimanfaatkan sebagai kamar kost dan lantai selasarnya yang terbuat dari *perforated steel*, sehingga cahaya masih bisa menembus hingga ke lt-1 bangunan. Mayoritas cahaya yang didapati oleh unit B berasal dari atas bangunan. Adapun pada gambar 16 merupakan uji coba unit kamar kos yang dipecah dari satuan unitnya. Hal ini dilakukan bukanlah tanpa alasan melainkan ingin mengetahui kondisi penghawaan ruang, dan didapati dengan diterapkannya pasangan batu bata interlock sebagai jalur ventilasi telah mewujudkan sistem *cross-ventilation* pada kamar. Berikut merupakan skema konstruksi dan pemilihan material baik pada unit A atau B yang bisa dilihat pada gambar 17.



Gambar 17: Aksonometri Eksploded unit A dan B
 Sumber: Dokumen Pribadi

Kedua unit cenderung mempertahankan struktur lama untuk menyelaraskan dengan konsep *adaptive reuse*. Penambahan struktur baru di dominasi pada struktur atap kedua unit yang berubah seluruhnya. Pada awalnya atap eksisting berupa atap prisma di kedua gubahannya, perubahan pada atap dimaksudkan sebagai pemanfaatan media masuknya cahaya dari atas maka dari itu pada unit b diterapkan skylight pada *trap*-nya.

KESIMPULAN

Keterbatasan lahan dan *plotting* gubahan bangunan yang tidak sesuai tidak menjadi hambatan dalam mengupayakan optimalisasi pencahayaan alami pada bangunan. Pada studi kasus terpilih, tepatnya rumah kost di bogor memiliki masalah terkait pencahayaan, alhasil teknologi yang diterapkan berupa pasangan batu bata *interlock* yang disusun secara *stretcher bond* menjadi salah satu trik untuk mengoptimalkan pencahayaan. Trik kedua ialah mengganti sebagian material atap dengan *skylight* dan mengganti material selasar lantai dua pada unit b dengan *perforated steel* agar cahaya menerus masuk hingga lantai satu. Upaya optimalisasi juga telah terbukti atas dampak yang telah ditimbulkan dari ketiga strategi diatas, dimana telah dilakukan pengujian menggunakan aplikasi Velux Daylight Visualizer terhadap ruang-ruang pada keseluruhan unit dan mendapati hasil 250 lux yang mencukupi standar yang ditetapkan oleh IES dan PUPR. Tak hanya itu, sekiranya teknologi pasangan batu bata *interlock* yang diterapkan juga mampu memperbaiki penghawaan ruang dengan menggunakan sistem *cross-ventilation*, hal ini terlihat dari hasil pengujian menggunakan aplikasi Flowsquare.

DAFTAR PUSTAKA

- Budiyani, A. G., & Prastyatama, B. (2020). Evaluation and Experiment of Interlocking Brick Module Design To Obtain Varieties of Ventilation Opening Area on Wall. *Www.Journal.Unpar.Ac.Id*, 04, 269–287. www.journal.unpar.ac.id
- Darwis, D., Ulum, S., & Kurniawan, G. (2016). Karakteristik Batu Bata Tanpa Pembakaran Berbahan Abu Sekam Padi dan Kapur Banawa Charateristic. *Gravitasi*, 15(2), 1–9.
- Maryunani, W., & Arnandha, Y. (n.d.). *batu-bata-non-bakar-solusi-alternatif-bahan-konstruksi-ramah-lingkungan.pdf*.
- Mas Santosa, & V. Totok Noerwasito. (2006). Pengaruh “Thermal Properties” Material Bata Merah Dan Batako Sebagai Dinding, Terhadap Efisien Energi Dalam Ruang Di Surabaya. *DIMENSI (Jurnal Teknik Arsitektur)*, 34(2), 147–153. <http://puslit2.petra.ac.id/ejournal/index.php/ars/article/view/16547>
- Permatasari, S. (2019). *Pengaruh Bahan Tambah Batu Bata Merah Terhadap Kuat Tekan Beton Fc ' 21 Menggunakan Agregat Kasar Pt. Amr Dan Agregat Halus Desa Sunggup Kota Baru*. 8(2), 155–161.
- PUPR. (2020). *Panduan Teknik Penerangan Bangunan Dan Gedung*. 20.
- Rahmayanti, D., & Artha, A. (2016). Analisis Bahaya Fisik: Hubungan Tingkat Pencahayaan dan Keluhan Mata Pekerja pada Area Perkantoran Health, Safety, and Environmental (HSE) PT. Pertamina RU VI Balongan. *Jurnal Optimasi Sistem Industri*, 14(1), 71. <https://doi.org/10.25077/josi.v14.n1.p71-98.2015>
- Riyanto, D. P., -, S., Prasetyo, W., & Arisanto, P. (2021). Pemanfaatan Sedimen Sungai Untuk Bahan Baku Unfired Bricks (Bata Tanpa Bakar). *Bentang : Jurnal Teoritis Dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil*, 9(2), 101–114. <https://doi.org/10.33558/bentang.v9i2.2863>
- SNI 03-2396-2001. (2001). *Tata cara perancangan sistem pencahayaan alami pada bangunan gedung*.
- Susanti, A., Mustafa, M. Y. E., Jezzica, I. G. A., Wulandari, J., & Putri, P. S. (2020). Pemahaman Adaptive Reuse Dalam Arsitektur Dan Desain Interior Sebagai Upaya Menjaga Keberlanjutan Lingkungan: Analisis Tinjauan Literatur. *Prosiding Seminar Nasional Desain Dan Arsitektur (SENADA)*, 3, 2655–4313. <http://senada.std-bali.ac.id>
- Yuliana, I., Wahyudi, A. H., & Muttaqien, A. Y. (2018). Analisis Bata Interlock Sebagai Alternatif Bahan Pelindung Tebing Sungai Yang Ramah Lingkungan (Studi Kasus Kali Pepe Surakarta). *Matriks Teknik Sipil*, 6(2), 263–271. <https://doi.org/10.20961/mateksi.v6i2.36569>