

IMPLEMENTATION OF DYNAMIC FACADE USING TEMPERATURE SENSOR TO INCREASE INDOOR THERMAL COMFORT

¹Thomas Raffael Kwa, ²Wulani Enggar Sari

¹ Student in the Bachelor's (S-1) Study Program in Architecture at Parahyangan Catholic University

² Senior lecturer in the Bachelor's (S-1) Study Program in Architecture at Parahyangan Catholic University

Abstract - Facade is one of the elements in architecture that has a role in the thermal comfort of spaces in buildings. Facades have a variety of shapes and types that have their respective roles. As the development of facade technology can be developed with the help of mechanical engineering, industrial, and computer engineering. One of them is the dynamic facade of the Al Bahar building, Abu Dhabi, which uses technology such as computer programming to regulate the size of the facade's opening to the climate which is read by heat sensors which has the effect of reducing heat on the building's interior and reducing energy for artificial ventilation / air conditioning purposes. The shape of the triangle folds that are designed can close and open fully for visual interest in the inner space. It is estimated that the facade is able to reduce more than 50 percent of incoming heat and reduce the need for air conditioning in buildings.

The purpose of this research is to study the workings of dynamic facades that use computer technology and also examine effective materials for use in Indonesia's tropical climate.

This research used quantitative and experimental methods of facade mockup design. An experiment was made of facade mockups that were able to move similarly to the movements of the facade of Mashrabiya, Al Bahar, which required programs and computer coding to support movements that were adaptive to the surrounding climate.

Keywords: adaptive, dynamic, facade, thermal

PENERAPAN DYNAMIC FACADE DENGAN SENSOR SUHU SEBAGAI UPAYA MENINGKATKAN KENYAMANAN TERMAL RUANG DALAM

¹Thomas Raffael Kwa, ²Wulani Enggar Sari

¹ Mahasiswa S1 Program Studi Arsitektur Universitas Katolik Parahyangan.

² Dosen Pembimbing S1 Program Studi Arsitektur Universitas Katolik Parahyangan.

Abstrak - Fasad merupakan salah satu elemen pada arsitektur yang memiliki peran terhadap kenyamanan termal ruang dalam bangunan. Fasad memiliki beragam bentuk dan jenis yang mempunyai peranannya masing-masing. Seiring berkembangnya teknologi fasad dapat dikembangkan dengan bantuan teknik mesin, industri, maupun teknik komputer. Salah satunya adalah dynamic facade pada bangunan Al Bahar, Abu Dhabi yang menggunakan teknologi seperti computer programming untuk mengatur besar bukaan fasad terhadap iklim yang dibaca oleh sensor panas yang memiliki dampak pengurangan panas pada ruang dalam bangunan dan pengurangan energi untuk keperluan penghawaan buatan / penyejuk ruangan. Bentuk lipatan segitiga yang dirancang dapat menutup dan membuka secara penuh untuk kepentingan visual pada ruang dalamnya. Diperkirakan fasad tersebut mampu mengurangi lebih dari 50 persen panas yang masuk dan mengurangi kebutuhan pendingin udara dalam gedung.

Tujuan penelitian ini adalah mempelajari cara kerja dari dynamic facade yang menggunakan teknologi komputer dan juga meneliti penggunaan material fasad polikarbonat dan aluminium yang efektif untuk digunakan

¹ Corresponding Author: thomas.raffael22@gmail.com

dalam fasad dinamis pada iklim tropis Indonesia. Penelitian menggunakan metode kuantitatif dan eksperimental rancangan maket fasad. Dilakukan eksperimen pembuatan maket fasad yang mampu bergerak serupa dengan pergerakan fasad Mashrabiya, Al Bahar yang membutuhkan program dan coding komputer untuk mendukung pergerakan yang adaptif terhadap iklim sekitar. Penelitian menguji pergerakan fasad terhadap temperatur panas matahari pada iklim tropis Jakarta, data iklim diperoleh dari data BMKG.

Kata Kunci: adaptif, dinamis, fasad, termal

1. PENDAHULUAN

Arsitektur selalu berkembang seiring perkembangan teknologi yang mampu memenuhi kebutuhan aktivitas maupun kenyamanan yang menjadi bagian dalam desain sebuah bangunan. Pada zaman arsitektur postmodern ini dan kemungkinan di zaman seterusnya arsitektur memadukan teknologi modern / mutakhir yang sesuai dengan perkembangan teknologi pada zamannya yang memudahkan penggunaannya. Pada zaman ini sedang berkembangnya konsep teknologi yang dipadukan dengan arsitektur seperti smart city dan smart building, smart building adalah sistem bangunan yang menggunakan proses otomatis untuk mengontrol operasi gedung termasuk pemanasan, ventilasi, pendingin udara, penerangan, keamanan dan sistem lainnya secara otomatis. Bangunan cerdas pada penelitian menggunakan sensor, aktuator, dan microchip untuk mengumpulkan data dan mengelolanya melalui bantuan komputer sesuai dengan fungsi yang dibutuhkan. Salah satu contoh fasad kinetik dengan teknologi terkini adalah pada bangunan Al Bahar mampu merespon kondisi matahari secara otomatis dengan bantuan sistem komputer yang mampu menerima respon melalui sensor panas dan cahaya yang terpapar pada fasad. Diperkirakan fasad tersebut mampu mengurangi lebih dari 50 persen panas yang masuk dan mengurangi kebutuhan pendingin udara dalam gedung.

Penelitian ini mempelajari bagaimana hal yang terkait dengan fasad kinetik, dan memunculkan beberapa pertanyaan antara lain:

1. Bagaimana cara kerja dynamic facade dengan menggunakan sistem computer programming?

2. Apa pengaruh penggunaan dynamic facade terhadap kenyamanan termal pada ruang dalam dengan penggunaan material yang berbeda?

Penelitian ini dilakukan dengan mempelajari cara kerja fasad bergerak dengan sistem komputer yang dapat bekerja melalui respon lingkungan seperti cahaya dan panas matahari. Dengan mengetahui cara kerja teknologi fasad bergerak yang jarang diterapkan di Indonesia, hal ini dapat memperbarui cara menanggapi iklim tropis terhadap kenyamanan termal bangunan. Selain itu penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektifitas penggunaan dynamic facade dalam hal menangkal panas sinar matahari yang berdampak pada tingkat kenyamanan termal ruang dalam.

Penelitian ini dilakukan dengan mempelajari cara kerja fasad bergerak dengan sistem komputer yang dapat bekerja melalui respon dari panas matahari, sehingga penulis dapat memahami proses kerja fasad dinamis tersebut. Dengan mengetahui cara kerja teknologi fasad bergerak yang jarang diterapkan di Indonesia, hal ini dapat memperbarui cara menanggapi iklim tropis terhadap kenyamanan termal bangunan. Selain itu penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efek terhadap kenyamanan termal dari penggunaan dynamic facade dalam hal menangkal panas sinar matahari yang berdampak pada tingkat kenyamanan termal ruang dalam, dengan membandingkan 2 material yang digunakan pada uji coba fasad.

2. KAJIAN TEORI

2.1 KENYAMANAN TERMAL

Menurut Boutet, (1987) kenyamanan termal dalam hal faktor psikologis perlu diperhatikan sebab setiap individu berbeda persepsi pada kenyamanan tubuhnya (Purnomo, H., dan Rizal, 2000: 38). Manusia dinyatakan nyaman secara termal ketika ia tidak dapat menyatakan apakah ia menginginkan perubahan kondisi termal yang lebih panas atau lebih dingin di dalam ruangan yang ditempatinya (McIntyre, D.A., 1980). Menurut Ashrae (1989) Aspek yang mempengaruhi kenyamanan termal adalah : Temperatur Udara (Ta), Kelembaban udara (Rh), Kecepatan Angin (v), Temperatur radiasi (Tg), Insulasi pakaian dan Individu.

2.2 ARSITEKTUR KINETIK

Menurut R.Kronenburg, arsitektur kinetik dapat didefinisikan sebagai sistem atau bagian dari suatu bangunan yang dapat melakukan perubahan bentuk dan perpindahan tempat. Dilihat dari definisi tersebut maka arsitektur kinetik bersifat fleksible, dapat berubah bentuk. Terdapat 3 macam tipologi arsitektur kinetik, yaitu : Embedded Kinetic Structures, Deployable kinetic structures, dan Dynamic kinetic structures yang diterapkan pada penelitian ini, berdasarkan buku Sustainable Applications of Intelligent Kinetic Systems, Michael A. Fox (Cambridge, 2003).

2.3 COMPUTER PROGRAMMING

Bahasa pemrograman menurut Munir yaitu bahasa komputer yang digunakan dalam menulis program dan menghasilkan sebuah instruksi pada mesin dan komputer. Dalam penelitian ini, pemrograman komputer digunakan sebagai pemberi instruksi yang merespon dari sensor panas (thermocouple) lalu dapat menggerakkan mesin penggerak dynamic facade melalui kode program yang telah ditetapkan.

2.4 DOUBLE SKIN DYNAMIC FACADE

Doble Skin Facade (Alessi, 2008) merupakan partisi tambahan pada bangunan yang pada umumnya dipasang di depan permukaan dinding eksterior. DSF yang berupa jarak antara dinding luar dan dalam disekat secara vertikal dan horizontal mengikuti bentuk jendela dan bertujuan untuk menghindari transmisi suara dan asap antar ruangan. Keuntungan penggunaan Double Skin Facade:

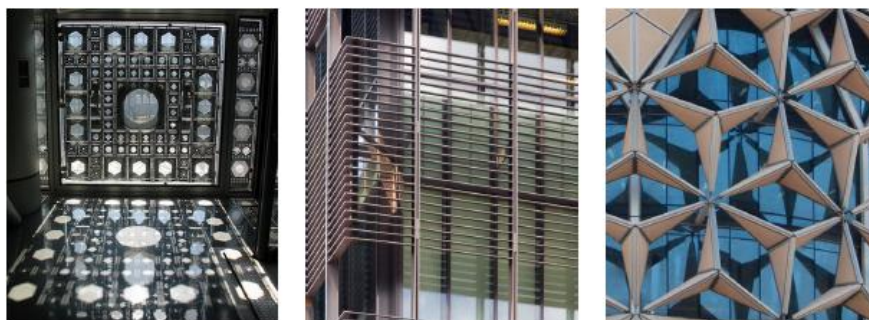
- Melindungi dari Panas berlebih yang masuk ke dalam bangunan
- Dapat mengalirkan ventilasi udara alami
- Mengurangi kebutuhan cahaya buatan
- Memberikan perlindungan akustik dan polusi
- Berfungsi sebagai perlindungan ekstra pada bangunan

Kekurangan dalam penggunaan Double Skin Facade :

- Biaya awal konstruksi yang jauh lebih besar
- Memerlukan tambahan ruang dan struktur yang lebih
- Pemeliharaan yang membutuhkan biaya

Istilah Adaptif mengacu pada kapasitas sebuah arsitektur untuk dapat mengatur atau diatur sebagai fungsi menyesuaikan situasi yang ada. Menurut Kronenburg, kemampuan adaptasi dari sebuah adaptable architecture mengacu pada kemampuan terkait pada bangunan untuk mampu beradaptasi atau menyesuaikan untuk memenuhi kebutuhan yang ada di dalamnya.

Terdapat beberapa klasifikasi adaptive double skin facade berdasarkan buku 'What is an Adaptive Façade? Analysis of Recent Terms and Definitions from an International Perspective' (Romano,2018), yaitu : Active Façade, Advanced Façade, Biomimetic or Bio-Inspired Façade, Kinetic Façade, Intelligent Façade, Interactive Façade, Moveable Façade, Responsive Façade, Smart Façade, Switchable Façade, Transformable Façade.



Gambar 1. Responsive Façade, Arab World Institute; Yale Sculpture Building, New Haven Connecticut; Al Bahar Towers, Abu Dhabi

Sumber : What is an Adaptive Façade? Analysis of Recent Terms and Definitions from an International Perspective, 2018

Fasad pada penelitian ini termasuk dalam kategori responsive facade, responsif dalam arsitektur dapat didefinisikan sebagai kemampuan sistem untuk beradaptasi sendiri untuk memberikan sesuatu yang fungsional melalui elemen desain yang mengubah nilai bentuknya (Ferguson, 2007). Fasad dengan sistem ini biasanya menggunakan sistem komputer dengan bantuan teknologi yang memadukan sensor untuk merespon lingkungan dan mengontrol elemen pada bangunannya melalui sistem komputernya tersebut.

MATERIAL

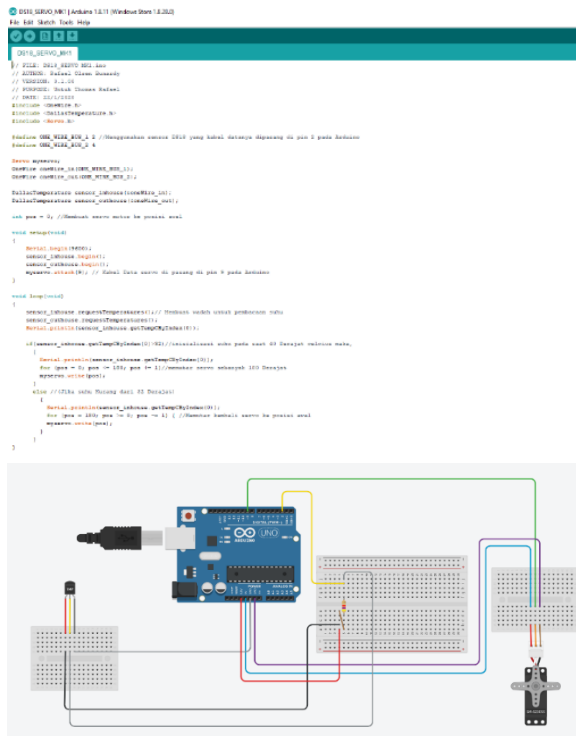
Material yang digunakan sebagai pentup fasad dinamis pada simulasi penelitian ini adalah aluminium dan polikarbonat. Aluminium adalah logam putih keperakan, lunak, non-magnetik, dalam kelompok boron. Aluminium memiliki beberapa kelebihan seperti: Mudah dibentuk dan lentur, Dapat didaur ulang, Mudah ditemukan, Mudah dipotong, Ketahanan korosi yang baik dan memiliki beberapa kekurangan, antara lain: Lunak / tidak terlalu kaku, Tidak kuat untuk menahan beban, dan konduktivitas termal yang tinggi.

Polikarbonat merupakan suatu kelompok polimer termoplastik, yang mudah dibentuk dengan menggunakan panas. polikarbonat memiliki beberapa kelebihan, yaitu : Polikarbonat ½ kali lebih ringan daripada kaca dan juga 43% dari aluminium, Kuat dan dapat tahan terhadap benturan, Transmisi cahaya yang bagus, polikarbonat dapat mentransmisi cahaya dari 42%-83% tanpa menyerap panas, Memiliki tingkat kestabilan dalam suhu. Bentuk dan kekuatan polikarbonat dapat stabil dalam rentang suhu udara 14°C - 400°C, Fleksibel, tahan lama dan juga dapat didaur ulang.

Beberapa kelemahan pada penggunaan polikarbonat, yaitu : Tidak tahan terhadap bahan kimia dan goresan, Warna akan menguning, retak, dan melemah jika terkena sinar ultraviolet dalam jangka waktu yang cukup lama, Harga lebih mahal dari kaca dan akrilik, Memiliki batas stabilitas terhadap kelembaban. Kelembaban di atas 200°C dapat mengakibatkan permukaan berembun, Jika terbakar dapat menimbulkan asap yang bau dan beracun.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dan eksperimental rancangan fasad. Dimulai dengan melakukan observasi lokasi mengenai analisis iklim makro yang dapat dihitung dengan angka, lokasi yang dipilih adalah konteks iklim tropis hangat lembab, yaitu Kota Jakarta Timur. Eksperimen penelitian dynamic fasad ini dilakukan dengan bantuan computer programming yang memungkinkan mesin atau alat gerak mendapatkan perintah untuk menggerakkan dynamic facade yang menanggapi iklim lingkungan sekitar. Dilakukan juga eksplorasi rancangan dynamic facade yang berkaitan dengan material yang digunakan sebagai fasad penangkal panas, dan hasil rancangan tersebut dianalisis dampaknya terhadap ruang dalam bangunan. Rancangan program dan fasad dilakukan melalui software pada komputer dengan menggunakan Arduino IDE dan Sktechup, lalu dilakukan uji coba hasil rancangan fasad dengan maket dan kotak uji coba.

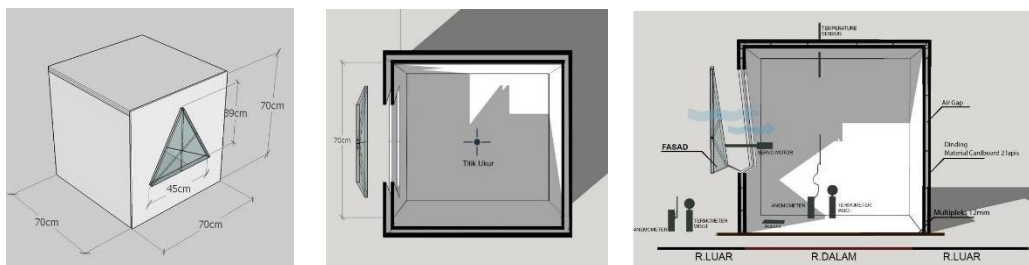


Gambar 2. Pengerjaan Programming menggunakan Arduino IDE dan Arduino UNO

Uji coba dan pengambilan data rancangan fasad dilakukan dengan simulasi pergerakan fasad dengan temperatur yang disesuaikan dengan iklim tropis daerah Jakarta melalui alat pemanas. Kotak pengujian tersebut dirancang menyerupai bangunan asli yang dibuat dengan skala

Implementation Of Dynamic Facade Using Temperature Sensor to Increase Indoor Thermal Comfort

1:5, dimana dianggap pada kondisi ruang asli adala 3,5x3,5m dengan ketinggian ruangan 3,5m yang memiliki bukaan pada sisi menghadap arah matahari. Pergerakan yang terjadi pada fasad diukur luasan bukaannya dan temperatur yang tersaring pada ruang dalam diukur dengan termometer ruangan.



Gambar 3. Potongan Rancangan Kotak Uji Coba Dynamic Facade

Tahap analisis dibagi menjadi beberapa tahap untuk menjawab pertanyaan penelitian, berikut adalah tahap analisis pada penelitian:

1. Analisis Rancangan Dynamic Facade Al Bahar

Menganalisis rancangan dynamic facade mengenai konsep bentuk, struktur, material dan pergerakannya dengan bantuan teknologi mesin/komputer. Melakukan pengujian pergerakan fasad yang terpengaruh oleh perubahan temperatur suhu di lingkungan sekitar.

2. Melakukan Simulasi Keyamanan Termal Ruang Dalam

Fasad yang dapat bergerak dengan bantuan teknologi komputer tersebut diuji bagaimana perubahan temperatur ruang dalam yang telah tersaring oleh dynamic facade terhadap iklim ruang luar. Penelitian menggunakan 2 macam material sebagai penutup fasadnya dan hasilnya dapat dibandingkan material mana yang paling responsif terhadap temperatur panas ruang luar, dan aspek lainnya.

4. ANALISIS

4.1 KONTEKS IKLIM

Jakarta berlokasi di sebelah utara Pulau Jawa, yang merupakan daerah dataran rendah dan memiliki ketinggian rata-rata 8 meter dpl. Pada sebelah selatan Kota Jakarta merupakan daerah pegunungan dengan curah hujan yang cukup tinggi. Bagian timur dan selatan kota Jakarta berbatasan langsung dengan provinsi Jawa Barat dan bagian barat berbatasan dengan Provinsi Banten. Jakarta memiliki suhu udara yang cukup panas dan kering atau memiliki iklim tropis hangat lembab. Lokasinya yang berada di bagian barat Indonesia, Jakarta mengalami puncak musim hujan pada bulan Januari / Februari dengan rata-rata curah hujan 350 milimeter dengan suhu rata-rata yang dialami adalah 27°C.

4.2 DESAIN DYNAMIC FACADE AL BAHAR



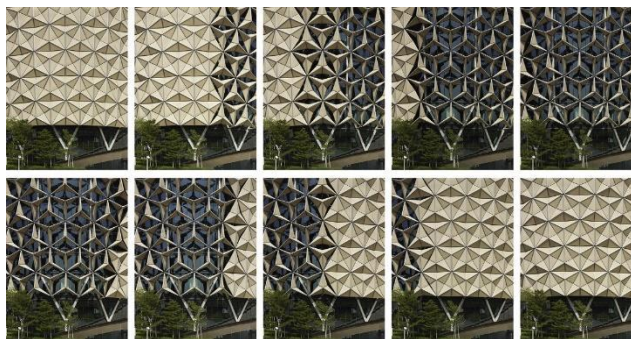
Gambar 4. Pergerakan *Dynamic Facade* Al Bahar, Abu Dhabi

Sumber : *Design strategy for adaptive kinetic patterns: creating agenerative design for dynamic solar shading systems*

Konsep bentuk fasad ini terinspirasi oleh motif budaya tradisional Islam yaitu Mashrabiya. Mashrabiya adalah kisi-kisi kayu yang ditemukan dalam arsitektur Islam tradisional dan digunakan sebagai panel dinding untuk kebutuhan privasi dan kontrol iklim sekitar termasuk ventilasi alami, kontrol panas matahari, dan pengurangan silau dari cahaya matahari. Tujuan dari perancangan fasad bergerak ini adalah menciptakan bangunan yang transparan, memungkinkan view yang tidak terganggu dari dalam tetapi tetap dapat memberikan tingkat kenyamanan termal internal sebaik mungkin. Rancangan fasad membutuhkan sistem naungan yang dapat beradaptasi, rancangan berusaha mengembangkan sesuatu yang sedikit lebih canggih daripada kisi-kisi horizontal atau vertikal pada umumnya.²

Secara total, setiap menara bangunan Al Bahar memiliki 1049 unit fasad dinamis, dimana setiap fasadnya memiliki berat kurang lebih 240kg. Bentuk bangunan dalam rencana memiliki ketinggian lantai yang berbeda sehingga rancangan fasad memiliki 22 variasi yang berbeda dalam ukurannya, yang menciptakan tambahan upaya untuk mengelola manufaktur dan perakitan fasad tersebut.

Sistem pelipatan fasad dari suatu bentuk yang datar bertransformasi dengan cara melipat ke bentuk 3d membuatnya menjadi memiliki fungsi lain saat fasad sedang terbuka, yaitu sebagai sun shading device berupa sirip horizontal dan vertikal dengan bentangan mencapai 90cm saat fasad melipat yang mampu membantu memberikan pembayangan ke dalam bangunan.



Gambar 5. Respon Fasad terhadap Pergerakan Matahari

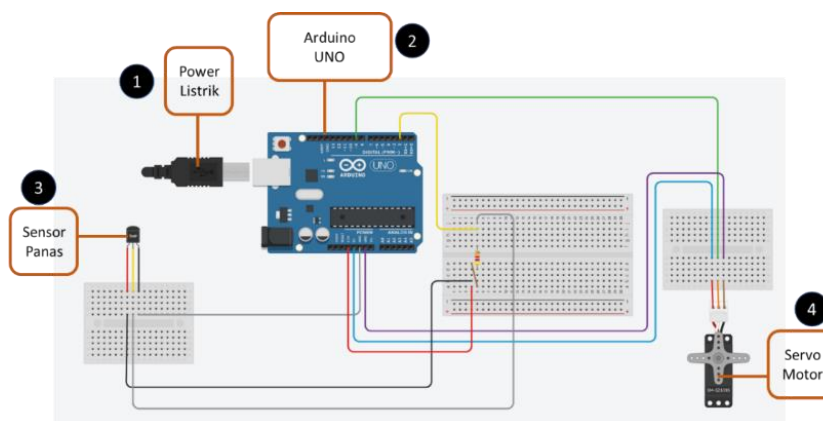
Sumber : <https://www.archdaily.com/510226/light-matters-mashrabiya-translating-tradition-into-dynamic-facades>

² Attia, *Evaluation of adaptive facades: The case study of Al Bahr Towers in the UAE*, (2017).

Dynamic facade Mashrabiya yang diterapkan pada bangunan Al Bahar merupakan wujud salah satu arsitektur kinetik dengan kategori *dynamic kinetic structure* yang berusaha mencapai konsep *sustainable architecture*. Arsitektur kinetik memiliki sifat fleksible dan dapat berubah bentuk. Dengan ukuran yang cukup besar yaitu ukuran sisinya mencapai 3,5 meter segitiga sama sisi memiliki berat 240kg yang cukup ringan untuk dimensi yang cukup besar tersebut. Material fasad yang digunakan adalah polytetrafluoroethylene panel yang ringan dan dapat menyaring cahaya yang masuk tetapi tetap memiliki efek visual yang transparan.

Faktor eksternal berupa radiasi panas matahari dan temperatur ruang luar sangat berkaitan dengan pengendalian kenyamanan termal ruang dalam, performa kegunaan energi untuk bangunan, efek visual bangunan, dan daya tahan material maupun elemen lain bangunan terhadap iklim sekitar. Perubahan bentuk fasad mengacu pada fisik real-time adaptasi desain ke lingkungan sekitar berdasarkan parameter yang telah dipelajari sebelumnya. Langkah desain dengan pendekatan adaptif memberikan rancangan yang berusaha untuk mencapai solusi desain hemat energi yang menguntungkan manusia dan alam. Secara umum fasad dirancang dengan tujuan memberikan kenyamanan terhadap ruang dalam. Kenyamanan termal yang diupayakan pada fasad dinamis ini adalah radiasi matahari, temperatur panas ruang luar, dan kelembaban pada ruang dalamnya. Fasad menjadi penyaring udara panas luar sehingga ruang dalam menjadi lebih sejuk untuk melakukan berbagai aktivitas, dengan mengurangi pengeluaran energi berlebih akibat panas udara luar. Material fasad yang digunakan selain bersifat ringan dan fleksibel, memiliki sifat dapat menyaring ataupun menahan panas pada jarak waktu tertentu.

4.3 PERAKITAN KOMPONEN *DYNAMIC FACADE*



Gambar 6. Komponen Mesin Maket Dynamic Facade

1. Tenaga Listrik

Tenaga listrik yang digunakan pada komponen ini memiliki input sebesar 5 volt. 5V: Pin ini menghasilkan 5V yang diatur dari regulator di papan *microcontroller*.

2. Arduino UNO

Arduino Uno pada penggunaan *dynamic facade* yang diteliti adalah sebagai komponen yang menyimpan coding program yang berfungsi untuk memberikan perintah untuk menggerakkan fasad.

*Implementation Of Dynamic Facade Using Temperature Sensor
to Increase Indoor Thermal Comfort*

3. Temperature Sensor




Komponen temperature sensor digunakan sebagai alat untuk membaca temperatur suhu pada area iklim mikro dimana fasad tersebut diletakan.

4. Servo Motor (Micro servo mg996)

Servo Motor merupakan perangkat atau aktuator dengan jenis gerak memutar yang dirancang dengan sistem kontrol feedback loop tertutup, sehingga servo dapat diatur untuk menentukan dan memastikan posisi sudut dari poros perputaran output motor/mesin.

Pergerakan rancangan maket fasad :




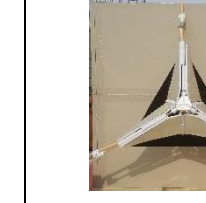

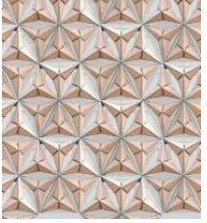
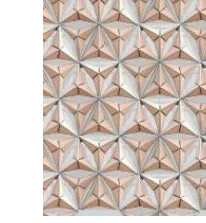
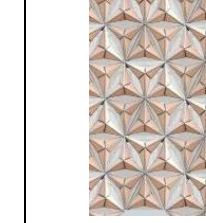
Tabel 1. Pergerakan Maket Dynamic Facade

No	Keterangan Pergerakan	Foto Pergerakan Fasad
1	Pergerakan pertama fasad dimulai dari fasad menutup secara penuh saat temperatur udara menunjukkan angka 26°C ke bawah (lebih kecil dari 27°C).	
2	Pergerakan kedua fasad membuka dengan setengah luas bukaan saat temperatur udara menunjukkan angka 27°C – 29,5°C. Servo Motor bergerak 180°, actuators bergerak sejauh 6 cm secara linear.	
3	Pergerakan ketiga fasad membuka secara penuh saat temperatur udara menunjukkan angka 29,5°C ke atas (lebih besar dari 29,5°C). Servo Motor bergerak 360°, actuators bergerak sejauh +6 cm (12cm) secara linear.	




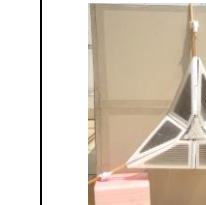
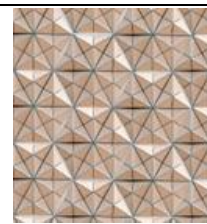
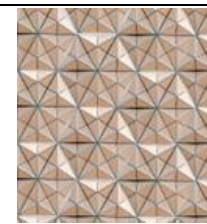
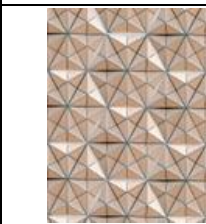
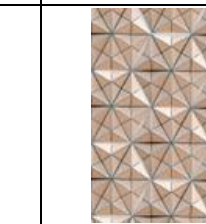
4.4 UJI COBA PERGERAKAN FASAD DENGAN SENSOR PANAS

Berikut adalah tabel pergerakan fasad dinamis dengan penggunaan material polikarbonat:

Tabel 2. Pergerakan Maket Dynamic Facade

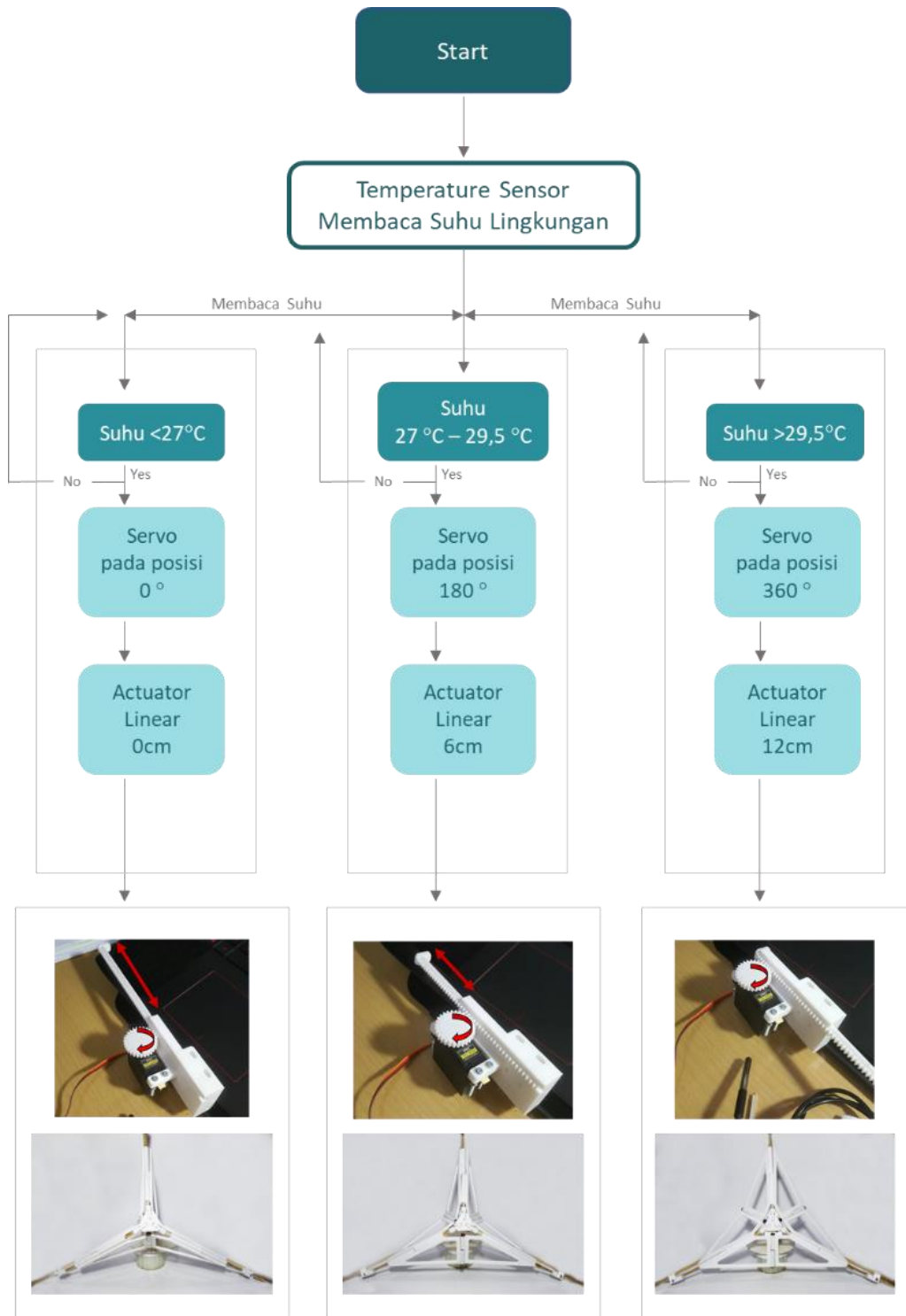
		Temperatur Udara (°C)			
Suhu	26	27	28	29	
Modul					
Fasad					

Tabel 3. Pergerakan Maket Dynamic Facade

		Temperatur Udara (°C)			
Suhu	29.6	30	31	32	
Modul					
Fasad					

Implementation Of Dynamic Facade Using Temperature Sensor to Increase Indoor Thermal Comfort

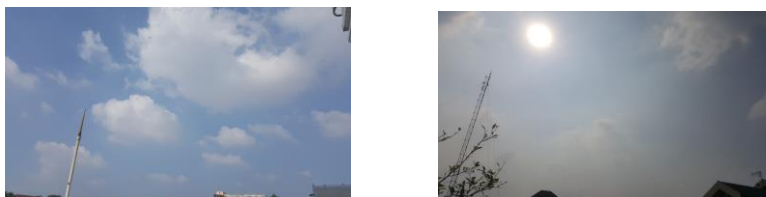
Berikut adalah diagram yang menjelaskan alur coding serta alur kerja fasad :



Gambar 7. Diagram Alur Kerja Fasad

*Implementation Of Dynamic Facade Using Temperature Sensor
to Increase Indoor Thermal Comfort*

Tabel 4 dan 5 di bawah adalah hasil perhitungan pengaruh besaran bukaan fasad dinamis terhadap kenyamanan termal ruang dalam menggunakan material penutup fasad polikarbonat dan aluminium, yang dilakukan pada 10 - 11 April 2020, pukul 06.00, 10.00, 15.00 WIB, dan rata-rata pada kondisi cuaca cerah berawan dan cerah sedikit berawan :



Gambar 8. Kondisi Cuaca saat Pengukuran

Tabel 4. Tabel Perhitungan Fasad terhadap Ruang Dalam

Polycarbonate									
Waktu Ukur	Temperatur Udara (°C)		Temperatur Radiasi (W/m ²)		Kecepatan Udara (m/s)		Kelembaban Udara (%)		Luas (cm ²)
	R.Luar	R.Dalam	R.Luar	R.Dalam	R.Luar	R.Dalam	R.Luar	R.Dalam	
06.40	26,5	26	27,1	26	1,5	1,4	86	82	602
07.25	27,2	27,1	29,4	28	1	0,4	83	80	400
08.00	28	27,8	30	30,1	0,6	0,2	80	76	400
09.05	29,3	29,1	30,8	30,6	1,2	0,7	75	74	400
09.30	30,5	30	31,1	30,9	0,9	0,4	73	72	0
17.10	31,6	30,2	32,6	31	0,8	0,1	67	71	0
16.20	32,2	31,3	38,5	33,5	1	0,5	64	68	0
16.00	33	31,9	40	32,6	0,6	0,2	62	64	0
15.40	34,2	32,8	39,7	33	1	0,4	65	65	0
15.00	35,3	33,2	42	33,5	0,5	0,2	60	60	0
10.44	36	35	44,2	33,8	0,1	0	60	61	0
11.30	37,6	36	48	34,2	0,2	0	57	61	0
12.20	38,2	36,3	45,3	34,3	0,1	0	54	57	0
13.00	39,5	37,9	51,4	35,8	0,9	0,3	48	57	0

Tabel 5. Tabel Perhitungan Fasad terhadap Ruang Dalam

Aluminium Metal Sheet									
Waktu Ukur	Temperatur Udara (°C)		Temperatur Radiasi (W/m ²)		Kecepatan Udara (m/s)		Kelembaban Udara (%)		Luas (cm ²)
	R.Luar	R.Dalam	R.Luar	R.Dalam	R.Luar	R.Dalam	R.Luar	R.Dalam	
06.50	26,5	26	27,1	26	1,5	1,5	86	83	602
07.35	27,2	26,9	29,4	29	1	0,4	83	80	400
08.10	28	28	30	30,1	0,6	0,2	80	74	400
09.15	29,3	29	30,8	30,6	1,2	0,7	74	74	400
09.40	30,5	30,1	31,1	31,4	0,9	0,4	70	73	0
17.20	31,6	30,8	32,6	31	0,8	0,1	66	72	0
16.30	32,2	31,5	38,5	33,8	1	0,5	63	68	0
16.10	33	32,9	40	34,3	0,6	0,2	62	64	0
15.50	34,2	33,7	39,7	33,6	1	0,4	65	66	0
15.10	35,3	34	42	34	0,5	0,2	60	61	0
10.56	36	35,3	44,2	35,2	0,1	0	60	62	0
11.40	37,6	37	48	33,7	0,2	0	57	57	0
12.30	38,2	37,4	45,3	35,1	0,1	0	54	56	0
13.15	39,5	38,2	51,4	37,8	0,9	0,3	48	55	0

4.5 ANALISIS PERGERAKAN FASAD

Rancangan fasad dengan sistem operasi pergerakan melalui coding program komputer yang diteliti mampu bergerak sesuai dengan keinginan besaran bukaan terhadap perubahan temperatur suhu yang telah ditetapkan pada coding, sehingga fasad memiliki pergerakan terhadap besaran bukaan yang pasti dan akurat dalam pembacaan temperatur suhu. Komponen sensor temperatur suhu yang digunakan mampu merespon secara cepat perubahan temperatur suhu yang terjadi dan dapat melakukan pergerakan servo secara cepat. Dengan sudut perputaran servo sejauh 90° untuk satu pergerakan pola, fasad mampu bergerak mencapai ± 2 detik, yang menggerakkan linear *actuator* sejauh 6 cm, untuk rangka dan penutup fasadnya memiliki berat sebesar 350 gram.

Tabel 6. Tabel Perhitungan Waktu Pergerakan Fasad

Sudut Putar Servo	Linear Actuator (cm)	Temperatur Suhu ($^\circ\text{C}$)	Waktu Pergerakan (detik)
0° (standby)	0	$<27^\circ\text{C}$	0
180°	6	$27^\circ\text{C} - 29,5^\circ\text{C}$	2
180° (total 360°)	6 (total 12cm)	$>29,5^\circ\text{C}$	1,5

Memfaatkan pergerakan fasad yang cepat, responsif terhadap iklim lingkungan sekitar yang diatur sebagai fungsi menyesuaikan situasi yang ada dan akurat dalam pembacaan sensor temperaturnya, fasad mampu mengontrol iklim pada ruang dalam dengan menyaring temperatur suhu panas dari luar ruangan dan radiasi matahari yang berdampak pada peningkatan suhu ruang dalam. Hal tersebut sesuai dengan fungsi *Double Skin Facade* yang berpengaruh pada peningkatan performa kenyamanan termal, dan berpengaruh terhadap perbedaan pergerakan udara kedalam ruangan karena dampak dari perbedaan tekanan pada ruang dalam yang mempengaruhi pergerakan udara disekitarnya dan faktor perbedaan tekanan daya apung termal yang terjadi pada rongga jarak fasad.

4.6 ANALISIS MATERIAL FASAD

Kedua material penutup fasad yang digunakan adalah polikarbonat dan metal sheet aluminium yang secara umum digunakan sebagai *Double Skin Facade* di Indonesia sendiri.

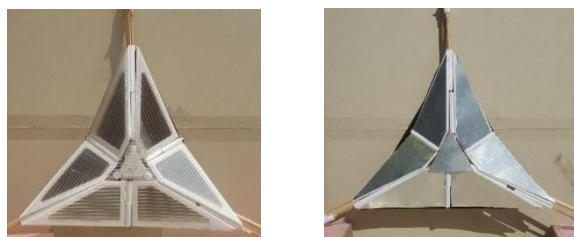
Material fasad yang dipilih tersebut memiliki sifat yang sesuai dengan kriteria arsitektur kinetik yang terutama adalah ringan dan memiliki sifat material yang kuat/tahan lama. Sifat lain yang dimiliki adalah mampu menyaring panas dan tahan terhadap cuaca. Berikut tabel 7 menjelaskan perbandingan hasil pengukuran penyaringan temperatur udara pada ruang dalam :

*Implementation Of Dynamic Facade Using Temperature Sensor
to Increase Indoor Thermal Comfort*

Tabel 7. Tabel Perbandingan Material Fasad

	Temperatur Udara (°C)			Temperatur Udara (°C)	
	R.Luar	R.Dalam		R.Luar	R.Dalam
Polycarbonate	26,5	26	Metal Sheet Aluminium	26,5	26
	27,2	27,1		27,2	26,9
	28	27,8		28	28
	29,3	29,1		29,3	29
	30,5	30		30,5	30,1
	31,6	30,2		31,6	30,8
	32,2	31,3		32,2	31,5
	33	31,9		33	32,9
	34,2	32,8		34,2	33,7
	35,3	33,2		35,3	34
	36	35		36	35,3
	37,6	35,8		37,6	37
	38,2	36,3		38,2	37,4
	39,5	37,9		39,5	38,2

Penggunaan kedua material tersebut untuk arsitektur kinetik dalam kriteria *Dynamic Kinetic Structures* . Ditinjau dari hasil pengukuran tersebut, material polikarbonat memiliki kemampuan yang lebih besar untuk memberikan kenyamanan termal pada ruang dalam terhadap pengaruh iklim ruang luar. Hal tersebut karena material aluminium memiliki sifat konduktor panas / termal yang cukup tinggi, sehingga paparan panas dari sinar matahari dapat masuk ke dalam ruangan meskipun fasad tertutup secara penuh. Material polikarbonat terbuat dari polimer termoplastik yang tidak memiliki sifat konduktor panas sehingga dapat mengontrol iklim ruang dalam untuk menurunkan suhu dan radiasi matahari. Dari segi kenyamanan visual, polikarbonat memiliki sifat menyebarkan cahaya maka dapat mengurangi silau yang masuk ke dalam ruang dalam dan tetap dapat memasukan cahaya alami ke dalam ruang dalam saat fasad dalam keadaan tertutup penuh.



Gambar 9. Material Fasad Polikarbonat dan Aluminium

Kinerja kedua material fasad yang diteliti juga berpengaruh kepada jarak maket fasad terhadap bukaan ruangan yaitu sejauh 20cm atau jarak pada keadaan asli 100cm atau 1meter. Jarak tersebut cukup berpengaruh untuk pengaliran udara dari luar ke dalam ruangan maupun tingkat kelembaban udara dan memberikan rongga transisi sirkulasi udara dan tekanan udara yang terpengaruh oleh pembayangan dari fasad. Secara keseluruhan kedua material fasad tersebut mampu memberikan kenyamanan termal pada ruang dalam, polikarbonat dapat menyaring panas udara dari ruang luar mencapai 1-2°C dan aluminium 0,5-1°C.

Tabel 8. Tabel Perbandingan Sifat Material Fasad

Merespom Aspek Kenyamanan Termal	Polikarbonat	Aluminium
Temperatur Suhu dan radiasi	Memiliki sifat tidak menghantarkan panas sehingga panas matahari tidak menembus ke sisi dalam polikarbonat	Memiliki sifat penghantar panas yang cukup tinggi sehingga menimbulkan panas pada bagian 2 sisi aluminium dan memberikan panas yang lebih pada ruang dalam.
Kecepatan Angin	Memiliki sifat yang sama terhadap kecepatan angin karena kedua material yang memiliki kerapatan yang dapat menahan angin maupun air.	
Kelembaban	Memberikan kelembaban yang lebih tinggi pada ruang dalam karena mampu menahan radiasi matahari yang masuk ke dalam ruang dalam.	Memberikan kelembaban yang lebih rendah sebesar 1-2% pada ruang dalam karena material dapat menghantarkan panas radiasi matahari dan masuk ke dalam ruang dalam.

4.7 ANALISIS PERGERAKAN FASAD TERHADAP TEORI

Dynamic Facade yang diteliti dan disimulasikan dalam bentuk maket fasad skala 1:5 tergolong dalam arsitektur kinetik *dynamic kinetic structure*., kotak pengujian tersebut dirancang menyerupai ruang dalam yang dibuat dengan skala 1:5, dimana dianggap pada kondisi ruang asli adalah 3,5x3,5m dengan ketinggian ruangan 3,5m yang memiliki bukaan pada sisi menghadap arah matahari. Dari konsep arsitektur kinetik tersebut, rancangan fasad memberikan sifat yang mampu beradaptasi sesuai konteks lingkungan, ringan, mudah bergerak dan memiliki desain yang multifungsi. Pada ukuran fasad asli yang digunakan pada bangunan Al Bahar, fasad memiliki berat 240kg dengan ukuran tinggi 3,5 meter sedangkan pada maket fasad yang diuji memiliki bobot 350 gram dengan ukuran 45cm segitiga sama sisi. Pada pergerakan fasad Al Bahar menghabiskan waktu ± 12 detik untuk setiap pergerakan pola fasadnya, sedangkan pada maket fasad yang diuji dapat melakukan satu pola pergerakan selama 2 detik. Fasad Al Bahar memenuhi dalam kriteria ringan dan mudah bergerak melalui bantuan dari pergerakan mesin *linear actuator*. Desain yang multifungsi didapat dari pergerakan fasad yang dapat melipat dan membuka secara penuh, yang saat melipat secara penuh dapat digunakan sebagai spsm / *shading device* yang menghasilkan pembayangan pada sudut tertentu.

Desain bersifat responsif yang memiliki kemampuan untuk beradaptasi dan memperhatikan lingkungan sekitar sesuai konteks tempat dimana lingkungan memiliki tingkat temperatur yang cukup panas. Pergerakan dari fasad dinamis dimanfaatkan untuk memenuhi kenyamanan pengguna pada ruang dalam. Fasad bangunan responsif mencakup fungsi kinerja yang pintar termasuk penginderaan secara *real-time*, elemen adaptif iklim kinetik, sistem otomatisasi dan kemampuan untuk meningkatkan kenyamanan penggunaannya.

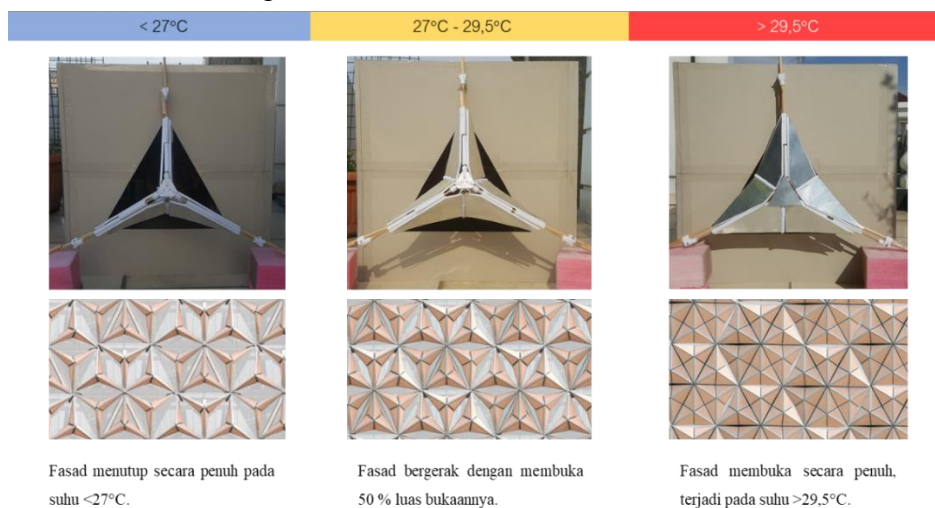
Kategori fasad responsif yang termasuk dalam *dynamic facade* memiliki cara kerja menggunakan sistem komputer dengan bantuan teknologi yang memadukan sensor untuk

merespon lingkungan dan mengontrol elemen pada bangunannya melalui sistem komputernya tersebut. Fasad ini merespon lingkungan eksternal (suhu udara, kelembaban, cahaya, radiasi, dan aliran udara) yang mempengaruhi keadaan ruang dalam bangunan terkait kenyamanan termal yang dirasakan oleh penggunanya. *Dynamic Facade* yang diuji dengan maket menerapkan pergerakan melalui sistem komputer yang memiliki kemampuan beradaptasi dengan respon yang akurat terhadap pembacaan temperatur udara pada lingkungan sekitarnya. Faktor yang ditanggapi pada rancangan fasad adalah temperatur suhu lingkungan sekitar yang dibaca dengan menerapkan teknologi berupa sensor temperatur udara yang mampu memberikan perintah ke program fasad lalu menggerakkan fasad dengan bantuan mesin aktuator linear. Dari penanggapi terhadap temperatur udara tersebut, faktor termal lain juga terpengaruh terhadap kenyamanan ruang dalam seperti, radiasi matahari, kelembaban dan kecepatan udara. Dalam hasil pengukuran kenyamanan termal, saat suhu udara semakin menurun, radiasi akan ikut menurun dan kelembaban akan semakin meningkat.

Penetapan angka suhu pada coding program fasad yang mampu bergerak sesuai perintah coding tersebut bersumber pada kondisi kenyamanan termal di Indonesia berkisar antara 18°C - 26°C, sehingga fasad dapat menyaring udara panas luar ke dalam bangunan yang berkisaran pada suhu kenyamanan termal tersebut.

5. KESIMPULAN

Fasad memiliki peran penting dalam menangkal panas sinar matahari yang berlebih dari luar, radiasi matahari, mengalirkan ventilasi udara alami dan mengatur tekanan udara pada ruang dalam sebagai upaya terhadap penurunan penggunaan energi listrik untuk penggunaan penghawaan buatan dalam bangunan.



Gambar 10. Pergerakan Fasad dengan Pelapis Fasad Aluminium

Pergerakan dynamic facade dengan menggunakan komponen arduino uno, sensor suhu, dan servo motor pada penelitian ini mampu bergerak sesuai dengan apa yang buat pada coding programming secara akurat dan tepat. Saat sensor suhu membaca suhu lingkungan <27°C fasad menutup secara penuh, saat suhu lingkungan sekitar 27°C-29,5°C fasad bergerak dengan

membuka lipatan 50% luas bukaan totalnya, dan saat suhu lingkungan terbaca $>29,5^{\circ}\text{C}$ oleh sensor suhu maka fasad akan membuka lipatan secara penuh dan menutupi seluruh luas bukaan.

Material polikarbonat memiliki kemampuan yang lebih besar untuk memberikan kenyamanan termal pada ruang dalam terhadap pengaruh iklim ruang luar. Hal tersebut dikarenakan material polikarbonat yang terbuat dari polimer termoplastik yang tidak memiliki sifat konduktor panas sehingga dapat mengontrol iklim ruang dalam untuk menurunkan suhu dan radiasi matahari. Dan juga polikarbonat dapat mentransmisi cahaya dari 42%-83% tanpa menyerap panas. Pada penelitian ini pengurangan temperatur udara dari ruang luar ke ruang dalam hanya terjadi pengurangan maksimal $1,6^{\circ}\text{C}$ karena bukaan fasad tidak ditutupi kaca dan pengaruh panas dari udara luar cukup berpengaruh ke ruang dalam.

Dalam penggunaan rancangan dynamic facade yang diteliti memiliki beberapa kelebihan seperti :

- Mampu beradaptasi secara otomatis
- Bersifat fleksibel dalam pengaturan program
- Dapat menghemat penggunaan listrik untuk keperluan pengawaan buatan
- Mampu menangkal sinar matahari berlebih secara responsif
- Bobot yang cukup ringan untuk dimensi yang cukup besar
- Memiliki sistem kerja dan pergerakan yang pasti dan akurat dalam merespon iklim

Dan juga rancangan dynamic facade memiliki beberapa kekurangan, yaitu:

- Biaya pembuatan yang lebih mahal
- Membutuhkan biaya pemeliharaan
- Memerlukan ruang dan struktur untuk menopang fasad
- Terkadang terjadi kesalahan pada sistem komputer

5.1 SARAN

Untuk pengembangan penelitian serupa, pada penelitian ini fasad yang diuji telah berusaha untuk mengikuti cara kerja dan bentuk yang serupa dari fasad pada bangunan Al Bahar. Dalam pengembangan penelitian selanjutnya dapat menggunakan sistem kerja yang sama pada fasad tersebut ataupun menggunakan program Building Management System sehingga dapat mengetahui lebih dalam terhadap penggunaan teknologi komputer terhadap pengaturan dynamic facade. Selain itu fasad untuk uji coba dapat menggunakan material dan sambungan struktur yang serupa ataupun sama dengan aslinya sehingga benar benar dapat diterapkan pada suatu bangunan.

6. DAFTAR PUSTAKA

Buku

- Alessi, B. (2008). Double Skin facade and its benefits. Copenhagen: Copenhagen Technical Academy.
Aelenei, Daniel. (2016). Adaptive Facade: concept, applications, research questions. 269-275.
Dewanto, Adi. (2008). Bahasa Pemrograman : Bahasa dan Algoritma Pemrograman. 47-60.

Jurnal

- Alkhayyat, Jamil Majed. (2013). Design strategy for adaptive kinetic patterns: creating a generative design for dynamic solar shading systems. (hal 42-49).

Implementation Of Dynamic Facade Using Temperature Sensor to Increase Indoor Thermal Comfort

- Attia, S. (2017). Evaluation of adaptive facades: the case study of Al Bahr Towers in the UAE. *Sci. Connect Shap. Qatar's Sustain. Built Environ.* 2 2017:6.
- Babilio, Enrico. (2019). On the Kinematics and Actuation of Dynamic Sunscreens With Tensegrity Architecture.
- Dewi, Cynthia Permata. (2017). Efektivitas Kinerja Double Skin Fasade-Green Wall terhadap Efisiensi Energi Pendinginan Bangunan (hal. 25-29).
- Ghasemi, Navid. (2017). Double-skin Façade Technology and its Aspects in Field of Aesthetics, Environment and Energy Consumption Optimization. (hal293-305).
- Karanouh, Abdulmajid. (2015). Innovations in dynamic architecture. The Al-Bahr Towers Design and delivery of complex facades.
- Kristina, Meitha. (2011). Klasifikasi Mekanisme Arsitektur Kinetik. (hal 7-20).
- Loonen RCGM. Climate Adaptive Building Shells. Technische Universiteit Eindhoven, 2010.
- Maeghar, Mark. (2015). Designing for Change: The Poetic Potential of Responsive Architecture. (hal 59-65).
- Milawati, Aini (2014) Teknologi Bahan (hal 6-10).
- Mulyadi, R. (2012). Study on naturally ventilated double-skin facade in hot and humid climate. Nagoya University, Japan.
- Nugroho, Agung Murti. (2013). Strategi Double Skin Fasade pada Bangunan Kampus National Central University dalam Menurunkan Kebutuhan Energi Pendinginan, hal51-55.
- Romano, Rosa. (2018) What is an Adaptive Façade? Analysis of Recent Terms and Definitions from an international Perspective (hal 66 – 75).
- Sari, Safitri Dian (2007) Potensi & Aplikasi Polikarbonat Pada Arsitektur. (hal 18-50).
- Tascon, M. H. (2008). Experimental and computational evaluation of thermal Performance and overheating in double skin facades (Thesis). University of Nottingham.
- Yagoub, W., Appleton, S., & Stevens, W. (2010). Case study of double skin façade in hot climates. Presented at the Adapting to Change: New Thinking on Comfort, London.

Internet

- Cilento, Karen (2012,September 05). Al Bahar Towers Responsive Facade / Aedas. Diakses pada bulan Februari, 2020, dari Archdaily.<https://www.archdaily.com /270592/al-bahar-towers-responsive-facade-aedas>.
- Badan Pusat Statistik Provinsi DKI Jakarta (2020, Maret 23). Suhu Udara Jakarta Menurut Bulan dan Stasiun Pengamatan, 2018. Diakses tanggal 10 April, 2020. <https://jakarta.bps.go.id/dynamictable/2020/03/23/467/1-2-2-suhu-udara-jakarta-menurut-bulan-dan-stasiun-pengamatan-2018.html>