

# Kualitas Akustik pada Auditorium dengan Konsep Arsitektur Biomimikri Contoh Kasus: Teater IMAX Keong Emas

Nur Laela Latifah<sup>1</sup>, Hilmi Haerul Umam<sup>2</sup>, Nur Annisa Hidayati Z.<sup>3</sup>,  
Haris Ali Mufti<sup>4</sup>, dan Iqbal Nuryaman<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup> Program Studi Arsitektur, Fakultas Arsitektur dan Desain, Institut Teknologi Nasional  
Bandung

Email: [ela@itenas.ac.id](mailto:ela@itenas.ac.id)

## ABSTRAK

Melalui penerapan konsep arsitektur biomimikri, gubahan massa bangunan dan ruang di dalam ruang auditorium dapat berbentuk dinamis sehingga dapat mempengaruhi perolehan kualitas akustik termasuk visualnya. Teater IMAX Keong Emas yang berlokasi di kawasan wisata Taman Mini Indonesia Indah (TMII) Jakarta adalah auditorium pemutaran film edukasi berteknologi IMAX yang menerapkan konsep arsitektur biomimikri dengan meniru hewan keong sawah. Dengan keunikannya maka bangunan teater ini perlu untuk dianalisis bagaimana keberhasilan desain terkait fungsinya sebagai ruang bagi audiens untuk mendengar dan menonton pertunjukan. Analisis penelitian dilakukan baik secara kuantitatif dan kualitatif berdasarkan data primer dari lapangan yang telah diolah, mencakup foto lapangan, hasil pengukuran lapangan, dan hasil wawancara internal dengan pihak manajemen Teater IMAX Keong Emas. Variabel penelitian mencakup konsep bentuk serta dimensi dan proporsi bangunan; bentuk serta dimensi dan proporsi ruang teater; pengaturan kursi, sudut pandang, dan kemiringan lantai audiens; desain plafon; juga material akustik interior. Tujuan penelitian adalah diperolehnya pemahaman bagaimana kualitas akustik juga kualitas visual dari auditorium pada bangunan dengan konsep arsitektur biomimikri. Berdasarkan analisis diperoleh nilai kebaruan di antaranya bahwa arsitektur biomimikri dapat diterapkan pada bangunan auditorium, serta plafon tidak harus berfungsi sebagai reflector pada auditorium bila telah menerapkan sistem tata suara yang sangat baik.

**Kata kunci:** Auditorium, Biomimikri, Kualitas Akustik, Sudut Pandang

## ABSTRACT

Through the application of the biomimicry architectural concept, the composition of the building mass and space in the auditorium can be dynamically shaped so that it can affect the acquisition of acoustic quality, including visuals. The Keong Emas IMAX Theater, located in the Taman Mini Indonesia Indah (TMII) tourist area, Jakarta, is an auditorium for the screening of educational films with IMAX technology that applies the biomimicry architectural concept by imitating rice snail. With its uniqueness, this theater building needs to be analyzed how the success of the design is related to its function as a space for the audience to hear and watch performances. Research analysis was carried out both quantitatively and qualitatively based on primary data from the field that had been processed, including field photos, results of field measurements, and results of internal interviews with the management of the Keong Emas IMAX Theater. The research variables include the concept of shape as well as the dimensions and proportions of the building; the shape as well as dimensions and proportions of the theater space; seat layout, viewing angles, and audience floor slope; ceiling design; also interior acoustic materials. The purpose of this research is to gain an understanding of the acoustic quality as well as the visual quality of the auditorium in a building with the biomimicry architectural concept. Based on the analysis obtained novelty values including that biomimicry architecture can be applied to the auditorium building, and the ceiling does not have to function as a reflector in an auditorium if it has implemented a very good sound system.

**Keywords:** Acoustic Quality, Auditorium, Biomimicry Viewing Angles

## 1. PENDAHULUAN

Auditorium adalah ruang yang difungsikan agar *audiens* dapat mendengar dan melihat pertunjukan. Desain ruang auditorium harus mendukung kualitas akustik yang baik bagi *audiens* dimana bunyi harus terdengar dengan jelas (terdapat *egibility*) dan keras merata di seluruh ruang, serta tidak terjadi cacat akustik. Gema (*echo*) dan gaung (*flutter echo*) adalah cacat akustik yang paling sering terjadi dan menimpa bunyi asli yang telah terdengar. Untuk itu bentuk, dimensi, dan proporsi ruang serta lapisan akustik harus didesain dengan tepat sesuai fungsi auditorium tersebut.

Bentuk ruang auditorium yang paling sederhana adalah *shoe box* yang mengalami subtraktif akibat adanya volume *stage*, lantai *audiens* yang *raked seating/* berundak, serta plafon yang didesain *reflective shell*. Lalu berdasarkan dimensi ruang yang terjadi, ruang auditorium dapat dirancang agar waktu tunda bunyi tepat dan di sisi lain cacat akustik gema dapat dicegah. Pada bangunan dengan arsitektur Biomimikri, bentuk gubahan massanya akan dinamis sebagai peniruan terhadap hewan atau tumbuhan di alam, dan hal ini dapat mempengaruhi bentuk interiornya yang menyesuaikan terhadap bentuk eksterior tersebut.

Teater IMAX Keong Emas adalah bangunan auditorium pertunjukan dimana *audiens* menonton film yang diputar dalam format IMAX (*Image Maximum*). Lokasi teater ini ada di Taman Mini Indonesia Indah, dan dibangun tahun 1982-1984 dengan konsep Biomimikri (bentuk gubahan massa menyerupai hewan keong sawah). Penting untuk dikaji apakah *audiens* di dalam teater ini tetap dapat menikmati pertunjukan dengan kualitas akustik yang baik. Selain penerapan material akustik, juga akan dikaji bentuk, dimensi, dan proporsi ruangnya apakah dapat mendukung penerimaan bunyi tanpa cacat akustik. Tujuan dilakukan penelitian terhadap Teater IMAX Keong Emas adalah agar dengan variabel penelitian yang dianalisis, diperoleh pemahaman bagaimana perolehan kualitas akustik (termasuk visual) di ruang auditorium pada bangunan yang didesain dengan konsep arsitektur Biomimikri.

### 1.1 Auditorium

Auditorium menurut [1] adalah ruang yang dibangun agar *audiens* dapat mendengar dan melihat pertunjukan, contohnya adalah teater. Ruang ini terdapat pada tempat *entertainment/* hiburan, ruang pertemuan, dan teater, yang dapat digunakan untuk *reherseal*, presentasi, pengenalan produk, atau ruang seminar/ kuliah umum. Apapun fungsinya, penting bahwa setiap *audiens* dapat mendengar dengan jelas dan menikmati materi yang dipresentasikan.

Berdasarkan konfigurasi area *stage* dan *audiens*, [2] menjelaskan bahwa terdapat beberapa tipe auditorium, yaitu *Arena Theatre* dengan lokasi panggung di tengah ruang dikelilingi *audiens*, *Thrust Theatre* dengan panggung dominan menjorok masuk dalam ruang yang membatasi sudut pandang *audiens*, *Proscenium Theatre/* panggung tertutup dimana panggung seluruhnya menjorok masuk dalam ruang, *Thrust and Open Stage/* panggung terbuka dimana panggung seluruhnya pada ruang terbuka, serta *Flexible Theatre* dengan panggung dan area *audiens* dapat diubah sesuai kebutuhan.

Pada penelitiannya [3] mengatakan bahwa *audiens* harus berada di area tempat duduknya dengan kondisi menguntungkan baik dalam melihat maupun mendengar. Menurut Sato et al. dalam paparan yang dikemukakan [4], sebagian besar *audiens* menentukan pilihan tempat duduknya berdasarkan informasi akustik yang akan diterimanya. Maka agar *audiens* dapat melihat dan mendengar dengan baik, terdapat pengaturan kursi pada ruang auditorium seperti yang dipaparkan [5]. Kursi sebaiknya *staggered* agar *view* atau sudut pandang tidak terhalang kepala *audiens* di depannya. Lebar kursi 450 mm hingga 650 mm yang dapat diperbesar hingga 12,7% semula sesuai dimensi tubuh *audiens*, dan tinggi kursi 450 mm. Dengan dimensi kursi seperti ini, diperoleh tinggi mata 1.120 mm dari lantai. Jarak antar panggung kursi depan-belakang 950 mm hingga 1.000 mm. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh [6], *audiens* yang duduk pada kursi area kiri belakang dan kanan belakang ruang auditorium akan memperoleh persepsi visual yang kurang baik dibandingkan bila duduk di area lainnya. Terkait jarak pandang, menurut [7] jarak baris pertama kursi *audiens* terhadap *stage* lebih

besar dari 3,6 m. Berdasarkan informasi [8], sudut pandang mata manusia arah vertikal maksimal  $70^\circ$  dan arah horizontal maksimal  $120^\circ$ , lalu agar dapat memahami teks, simbol, dan warna yang dipresentasikan maka dengan tinggi mata 1.200 mm seorang *audiens* sebaiknya memperoleh sudut pandang vertikal maksimal  $25^\circ$  dan horizontal maksimal  $45^\circ$  ke arah bagian tengah *screen*. Agar rambatan bunyi dari sumbernya tidak terhalang *audiens* di depannya, menurut [9] diperlukan kemiringan lantai yang tepat dengan tidak mengabaikan aspek keamanan dan kenyamanan gerak. Rasio kemiringan lantai ideal ini dalam dimensi beda elevasi (arah sumbu y) : panjang lintasan (arah sumbu x) adalah maksimal 1 : 8.

## 1.2 Kualitas Akustik

Akustik menurut [9] adalah ilmu pengetahuan yang khusus mempelajari sifat bunyi dan tata suara, berikut semua efek yang ditimbulkan bunyi tersebut bagi pendengar. Dengan mengacu pada definisi yang dikeluarkan oleh Stein, definisi akustik dalam lingkup arsitektur adalah teknologi dalam mendesain ruang, struktur, serta sistem mekanikal agar diperoleh kualitas bunyi yang diinginkan, dan di sisi lain bunyi yang tak diinginkan termasuk bising dapat dieliminasi. Kualitas akustik adalah hal sangat penting untuk diperoleh pada auditorium dimana bunyi asli yang berasal dari sumbernya termasuk bunyi hasil pantulan dalam ruang dapat diterima oleh seluruh *audiens* dengan terdengar jelas dan keras merata, juga tanpa cacat akustik. [9] mengatakan bahwa interior bangunan sangat mempengaruhi perolehan kualitas akustik, sedangkan bagian eksteriornya berfungsi untuk mewadahi aktivitas di dalamnya dan dapat dimanfaatkan untuk mencegah atau mereduksi gangguan bising dari lingkungan.

Energi bunyi dihasilkan sumber bunyi, lalu dalam proses perambatannya gelombang energi yang mengenai permukaan material akan mengalami 3 hal yaitu refleksi/ dipantulkan, absorpsi/ diserap, dan transmisi/ diteruskan. Material dengan kemampuan refleksi sempurna masih dapat mengabsorb energi bunyi ini meskipun jumlahnya sangat kecil. Sebaliknya material dengan kemampuan absorpsi sempurna juga masih dapat merefleksikan energi yang diterimanya dalam jumlah sangat sedikit [9]. Menurut [10] setiap material akan bekerja menyerap bunyi berbagai frekuensi dengan efisiensi yang berbeda. Material dengan kemampuan dominan memantulkan energi bunyi disebut *reflector*, sedangkan bila dominan menyerapnya disebut *absorber* [11]. Material *reflector* atau *absorber* bila permukaannya tidak datar licin atau *irregular* maka dapat berfungsi sebagai *diffuser*/ penyebar energi bunyi.

Menurut [5] terdapat 3 tipe efek bunyi pantul yaitu pertama bunyi pantul terdengar tidak jelas tetapi mempertegas bunyi asli, kedua bunyi pantul terdengar jelas tidak mengganggu bunyi asli, dan ketiga bunyi pantul berupa *echo* (gema) yang mengganggu bunyi asli terdengar. Bila permukaan *reflector* berupa bidang datar yang datar dan licin, sesuai hukum Snellius akan terjadi pemantulan dengan sudut datang sama dengan sudut pantul [9]. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh [12], terbukti bahwa sesuai dengan waktu tempuh rambatan bunyi, makin jauh jarak *audiens* dari sumber bunyi maka makin turun intensitas bunyi yang diterima. Hal ini disebabkan obyek apapun dalam ruang terutama kursi *audiens* termasuk *audiens* menyerap energi bunyi yang mengenainya. Berdasarkan perilaku bunyi ini maka bila sumber bunyi hanya dari panggung maka setiap bidang plafon dapat didesain dengan dimensi dan sudut kemiringan masing-masing yang tepat agar semuanya efektif berfungsi sebagai *reflector*, sehingga bunyi pantul akan membantu bunyi asli yang melemah dan sebagai hasil akhir diperoleh bunyi terdengar keras merata oleh semua *audiens*.

Dimensi panjang bidang plafon (x) idealnya minimal 4 kali panjang gelombang energi bunyi [13]. Nilai panjang gelombang bunyi berkebalikan dengan frekuensinya, sehingga makin besar rata-rata frekuensi bunyi yang berlaku pada suatu auditorium maka makin pendek panjang bidang plafon yang dibutuhkan. Rentang frekuensi bunyi percakapan 170 Hz hingga 4.000 Hz lebih rendah dari rentang pada bunyi musik 50 Hz hingga 8.500 Hz [14]. Bila auditorium mempertunjukkan baik suara maupun musik pada saat bersamaan, dapat ditetapkan rata-rata frekuensi bunyi yang berlaku sebagai acuan yaitu 1.000 Hz (tinggi) yang juga mengakomodasi 500 Hz (rendah).

Bunyi terdengar mengalami penurunan intensitas sesuai dengan hukum *inverse square* [14], dimana makin jauh 2 kali jarak dari sumbernya maka intensitas bunyi terdengar menjadi 1/4 semula, makin jauh 3 kali menjadi 1/9 semula, dan seterusnya. Maka menurut [9] penting agar bentuk ruang auditorium didesain agar *audiens* dapat diposisikan sedekat mungkin dengan sumber bunyi (contoh dengan kursi dalam format kipas) dengan menghindari bentuk persegi panjang yang makin menjauhi panggung. Pada auditorium dengan sistem tata suara, sebagai sumber bunyi adalah titik-titik *speaker* yang ditempatkan tersebar pada lokasi tertentu. Ruang teater tempat pemutaran film memiliki *screen* besar sebagai pengganti panggung, dan semua *speaker* utama disimpan di belakangnya.

Cacat akustik yang paling sering terjadi pada auditorium adalah *echo/ gema* dimana bunyi pantul terdengar terlambat sehingga mengganggu kejelasan bunyi asli, dan *flutter echo/ gaung* dimana gema terjadi berulang kali. Untuk mengantisipasi terjadinya gema dan gaung dapat digunakan *absorber* dan *diffuser*, selain itu sangat penting untuk mengatur bentuk ruang agar tidak terlalu panjang arah ke samping atau ke belakang juga tidak terlalu tinggi, sehingga diperoleh pencegahan gema dan waktu tunda yang tepat. Bentuk ruang auditorium memanjang juga mengakibatkan jangkauan bunyi menjadi jauh walaupun sudah dibantu sistem tata suara [15]. Untuk mencegah gaung permukaan interior seharusnya tidak dibuat sejajar berhadapan [11]. Berdasarkan paparan [16] dapat disimpulkan bahwa dinding panggung dan dinding belakang yang cekung mengakibatkan pemusatan bunyi. Menurut [17], parameter akustik sangat dipengaruhi oleh bentuk ruang dan material interior yang digunakan. Berdasarkan bentuk ruang interiornya maka dapat diukur jarak tempuh rambatan bunyi yang terjadi, juga resiko terjadinya gaung. Berdasarkan material interior yang diterapkan maka dapat diketahui apakah terjadi pemantulan, penyerapan, atau penyebaran bunyi. Menurut [18] dengan peletakan *absorber* di area *audiens* termasuk pada 2/3 lantai maka dapat meningkatkan kualitas akustik pada bunyi percakapan. [3] mengatakan bahwa *absorber* di area belakang ruang akan meminimalisir cacat akustik gema. Sedangkan [19] mengatakan *diffuser* berperan dalam pemerataan penerimaan bunyi yang terdengar jelas pada *audiens* dan bentuk permukaan yang cembung paling baik dalam pemantulan bunyi yang menyebar.

### 1.3 Biomimikri

Menurut [20] biomimikri berasal dari kata bio (kehidupan) dan mimesis (imitasi/ tiruan), dan merupakan disiplin ilmu yang mempelajari ide-ide terbaik di alam yang kemudian ditiru bentuk, proses, sistem, dan strateginya untuk memecahkan permasalahan. [21] berpendapat bahwa biomimikri adalah studi meniru alam, dan digunakan oleh arsitek untuk membantu memecahkan masalah (contoh menghasilkan desain yang sustainabel, serta struktur bangunan yang lebih baik dan lebih efisien).

Pada salah satu jurnalnya, [21] memaparkan pendekatan biomimikri pada proses desain, yang diperoleh dari pendapat Knippers pada *International Biona Symposium* di Stuttgart tahun 2009 dan pendapat Helms dkk. pada jurnal *Design Studies* tahun 2009. Terdapat 2 macam pendekatan ini, yaitu *Problem-Driven Biologically Inspired Design/ Top-Down Approach* dan *Solution-Driven Biologically Inspired Design/ Bottom-Up Approach*. Pada *Problem Driven*, arsitek memecahkan permasalahan desain dengan cara analogi/ serupa seperti yang telah dilakukan tumbuhan/ hewan di alam, sedangkan pada *Solution-Driven* solusi desain lahir dari riset terhadap fungsi, bentuk, dan anatomi tumbuhan/ hewan. Arsitek telah menjadikan alam (tumbuhan dan hewan) sebagai sumber inspirasi untuk diterapkan pada berbagai hal terkait bentuk, teknik, dan fungsi.

Mengacu pada pendapat Zari, M.P. yang telah disampaikan pada acara konferensi *Sustainable Building* di Auckland tahun 2007, [21] memaparkan bahwa dalam mengaplikasikan biomimikri terdapat 3 level yaitu *Organism Level/ level organisme* dimana mimikri bersifat spesifik, *Behaviour Level/ level perilaku* dimana mimikri mengacu pada perilaku yang terjadi di alam, dan *Ecosystem Level/ level ekosistem*. Terkait level tersebut, pada proses desain terjadi mimikri berupa *form* (penyerupaan bentuk pada bangunan), *material* (jenis material yang digunakan pada bangunan), *construction* (bagaimana proses konstruksi bangunan terjadi), *process* (bagaimana kinerja bangunan), dan *function* (fungsi/ kapabilitas bangunan).

Pada penelitiannya [22] mengatakan saat ini melalui perkembangan teknologi dan material, arsitektur biomimikri telah banyak diterapkan dalam memecahkan masalah desain (contoh arsitektur berkelanjutan). Dengan berinspirasi dari alam (melalui peniruan adaptasi yang terjadi secara alami di alam) maka akan menghasilkan desain yang harmonis dengan lingkungan. Salah satu contoh bangunan yang telah menerapkan biomimikri menurut [20] yaitu Gherkin Tower rancangan Norman Foster yang meniru bentuk dan struktur luar Venus Flower Basket (hewan air dengan bentuk silinder mengerucut dan memiliki rangka luar seperti *lattice*) yang mampu bertahan (berkelanjutan) terhadap arus air deras di habitatnya.

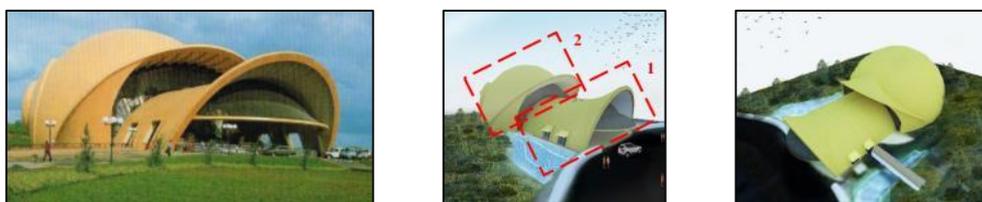
## 2. METODOLOGI

Data yang digunakan pada analisis adalah data primer yang diperoleh langsung di lapangan. Berdasarkan hasil dokumentasi foto dan pengukuran termasuk wawancara internal dengan pihak manajemen/ pengelola teater, maka dibuat gambar-gambar 2 dimensi dan *image* 3D. Metoda analisis yang digunakan yaitu bersifat kuantitatif maupun kualitatif. Secara garis besar variabel penelitian terdiri atas konsep bentuk serta dimensi dan proporsi bangunan; bentuk serta dimensi dan proporsi ruang teater; pengaturan kursi *audiens*; sudut pandang *audiens*; kemiringan lantai *audiens*; desain plafon; lalu terakhir material akustik interior. Pada kesimpulan, dilakukan pembobotan yang bersifat kuantitatif agar hasil analisis lebih objektif.

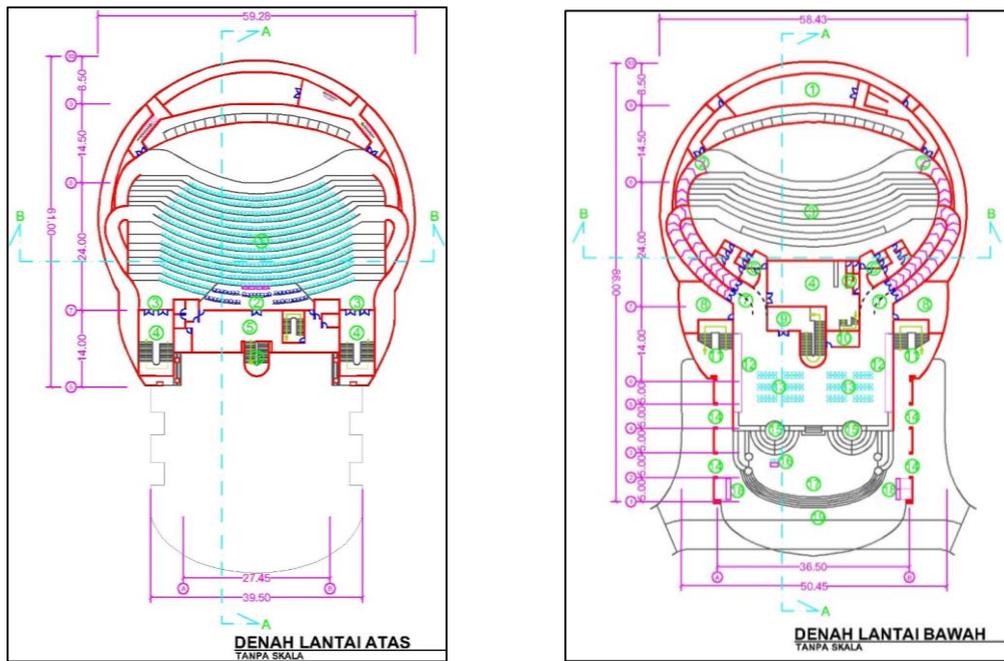
## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Konsep Bentuk serta Dimensi dan Proporsi Bangunan

Teater adalah salah satu jenis ruang auditorium, yang membutuhkan bentang lebar untuk memwadah audiens dalam jumlah besar yang menikmati pertunjukan/ presentasi. Dengan mengangkat hikayat rakyat Keong Emas, Teater IMAX Keong Emas didesain dengan *form*/ bentuk gubahan massa menyerupai hewan keong sawah. Keong adalah hewan lunak yang memerlukan perlindungan berupa cangkang keras. Pada teater IMAX ini, seperti terlihat pada Gambar 1, secara garis besar massa bangunan dapat dibagi menjadi 2 bagian yaitu 1) Badan keong dimana terdapat *entrance* bangunan dan ruang tunggu, 2) Cangkang keong dimana terdapat ruang teater. Cangkang ini terbuat dari material beton dengan ketebalan 15 cm pada puncak kubah dan 20 cm pada kakinya, sehingga dapat berfungsi kokoh sebagai struktur bentang lebar 46 m yang melindungi seluruh isinya. Berdasarkan bentuk gubahan massa bangunan dan fungsi bagian cangkangnya, proses desain teater IMAX Keong Emas dapat dikategorikan memiliki pendekatan biomimikri baik *Problem-Driven* maupun *Solution-Driven Biologically Inspired Design*, dengan aplikasi biomimikri pada *Organism Level* dimana secara spesifik telah meniru dengan baik bentuk dan fungsi cangkang dari hewan keong sawah.



**Gambar 1. Bentuk Bangunan Teater IMAX Keong Emas – Awal Didirikan (kiri); Pembagian Gubahan Massa (tengah); Perspektif Mata Burung (kanan)**  
Sumber: Kantor manajemen Teater IMAX Keong Emas (kiri); Data pribadi (tengah dan kanan)



Gambar 2. Denah Lantai Atas (kiri); Denah Lantai Bawah (kanan)

Sumber: Data pribadi

Tabel 1. Dimensi dan Proporsi Bangunan

	Lebar (m)	Panjang (m)	Proporsi	Analisis
Lantai Atas (badan)	39,50	61,00	$61,00/39,50 = 1,54$	Baik
Lantai Atas (cangkang)	59,28	61,00	$61,00/59,28 = 1,03$	Baik
Lantai Bawah (badan)	50,45	86,00	$86,00/50,45 = 1,71$	Cukup baik
Lantai Bawah (cangkang)	58,43	86,00	$86,00/58,43 = 1,47$	Baik

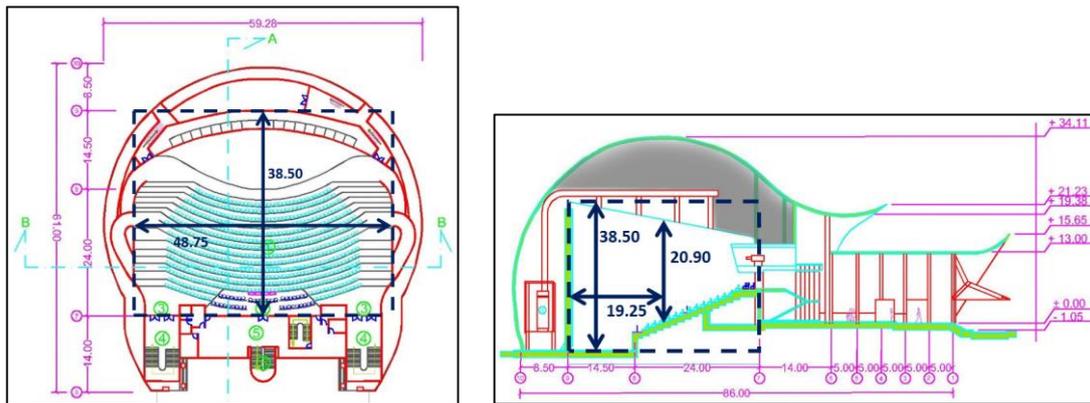
Sumber: Data pribadi

Terkait kebutuhan proporsi ruang auditorium yang tidak terlalu panjang, proporsi Lantai Bawah (badan) terukur memiliki rasio 1,71, berarti bentuknya jauh lebih memanjang dari badan dan cangkang Lantai Atas maupun cangkang Lantai Bawah. Tetapi bagian ini memiliki fungsi utama sebagai *entrance* dan ruang tunggu (bukan ruang teater), maka secara keseluruhan dimensi dan proporsi bangunan Teater IMAX Keong Emas sudah baik. Lihat Gambar 2 dan Tabel 1.

### 3.2 Bentuk serta Dimensi dan Proporsi Ruang Teater

Ruang teater terdapat pada bagian cangkang pada Lantai Bawah yang menerus hingga Lantai Atasnya. Bentuk interior ruang teater bukan *shoe box*, tetapi masih terdapat usaha mengikuti bentuk eksterior atau gubahan massanya yang menerapkan konsep arsitektur biomimikri, selain itu tidak terjadi permukaan dinding terlalu cekung yang mengakibatkan pemusatan bunyi. Lihat Gambar 3.

Pada Gambar 3 tercantum dimensi ruang yang diukur pada denah berdasarkan jarak terjauh dan pada potongan baik berdasarkan jarak terjauh maupun rata-rata jaraknya yang terbentuk dari kemiringan plafon dan lantai *audiens*. Ditinjau dari proporsi denah, rasio ke arah samping 1,27 sudah baik, tidak terlalu panjang. Ditinjau dari proporsi potongan yang diukur secara rata-rata jarak tingginya, rasio 1,00 sangat baik tidak ada peninggian atau pemanjangan, sedangkan bila diukur berdasarkan rata-rata jarak tingginya, rasio 1,84 belum ideal karena ruang seolah-olah mengalami pemanjangan menjauhi *screen*. Lihat Tabel 2. Karena dimensi ruang sebaiknya diukur berdasarkan dimensi benda terbesar yang diwadahi (*screen*) dengan rasio proporsi 1,00, maka secara keseluruhan bentuk, dimensi, dan proporsi pada ruang Teater IMAX Keong Emas sudah baik karena jarak tempuh bunyi pantul tidak terlalu jauh sehingga dapat mencegah waktu tunda bunyi berkepanjangan yang mengakibatkan terjadinya cacat akustik *echo/ gema*.



Gambar 3. Denah Ruang Teater (kiri); Potongan Ruang Teater (kanan)  
Sumber: Data pribadi

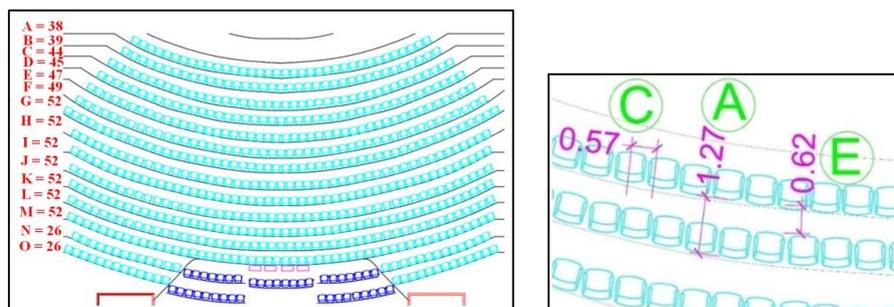
Tabel 2. Dimensi dan Proporsi Ruang

	Lebar (m)	Kedalaman (m)	Proporsi	Analisis
Denah	48,75	38,50	$48,75/38,50 = 1,27$	Baik
	Tinggi (m)	Kedalaman (m)	Proporsi	Analisis
Potongan (utuh)	38,50	38,50	$38,50/38,50 = 1,00$	Sangat Baik
Potongan (rata-rata)	20,90	38,50	$38,50/20,90 = 1,84$	Cukup baik

Sumber: Data pribadi

### 3.3 Pengaturan Kursi Audiens

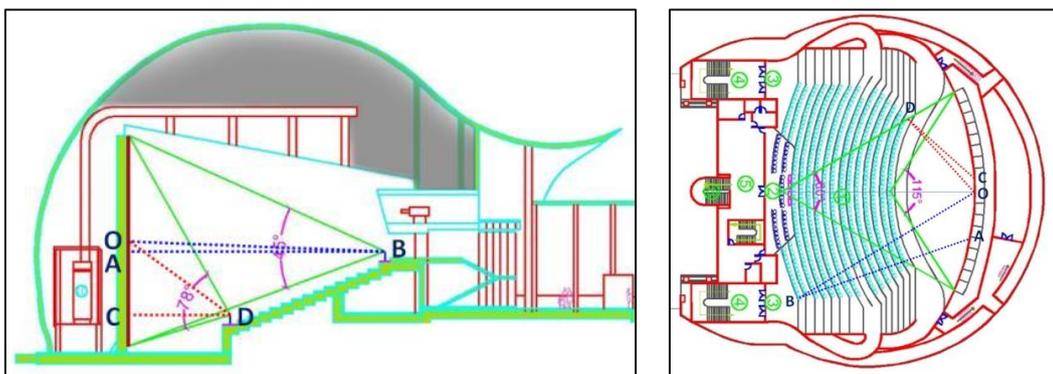
Kursi audiens telah dilayout *staggered* dan membentuk kipas, sehingga dapat mereduksi gangguan akibat *view* ke arah *screen* terhalang oleh kepala *audiens* yang duduk di depannya. Layout kursi ini juga dapat menghindari terjadinya ruang memanjang ke belakang yang mengakibatkan posisi audiens terlalu jauh dari *screen* dan beresiko penerimaan intensitas bunyi yang telah menurun dari *speaker* utama di balik *screen* tersebut. Koridor sirkulasi hanya tersedia pada bagian samping kiri dan kanan ruang sehingga tidak mendukung kemudahan gerak *audiens* di antara baris kursi, tetapi dapat membantu mengurangi posisi audiens di kiri-kanan belakang ruang yang beresiko memperoleh persepsi visual kurang baik. Jumlah kursi 626 buah dan khusus VIP di area belakang atas 40 buah, sehingga seluruh kursi *audiens* sebanyak 666 buah. Jumlah kursi per baris dari depan ke belakang tidak sama, pada baris A hingga G makin banyak 38 hingga 52 buah, tetapi mulai baris G hingga M jumlahnya tetap 52 buah agar dengan dimensi ruang yang ada tetap tersedia koridor di kiri dan kanan ruang dengan dimensi lebar yang cukup. Khusus pada baris N dan O hanya terdapat masing-masing 26 buah kursi karena terpotong oleh area VIP. Lebar kursi (C) 0,57 m memenuhi syarat. Jarak antar punggung kursi depan-belakang (A) 1,27 m lebih besar dari batas 1.000 mm, tetapi sebaiknya tidak dikurangi karena dengan alokasi koridor hanya di tepi kiri-kanan baris kursi maka jalur sirkulasi di depan kursi (E) 0,62 m harus dapat mengakomodasi gerak *audiens* yang cukup banyak. Lihat Gambar 4. Berdasarkan analisis, secara umum pengaturan kursi audiens cukup baik.



Gambar 4. Layout Kursi Kipas Audiens (kiri); Dimensi Terkait Layout Kursi (kanan)  
Sumber: Data pribadi

### 3.4 Sudut Pandang Audiens

Auditorium adalah ruang dimana *audiens* juga melihat selain mendengar, maka sudut pandang terhadap *screen* di ruang Teater IMAX Keong Emas ini juga harus diperhatikan. Seluruh area *screen* yang di sini menjadi area *stage* terbuka dapat dilihat audiens (*Thrust and Open Stage*). Dimensi *screen* yang terpasang tinggi x lebar = 21,5 m x 29,3 m. Dengan batasan ruang yang ada, sudut pandang *audiens* yang terjadi secara vertikal dengan menunduk dan mendongakkan kepala dari posisi terjauh hingga terdekat dengan *screen* sebesar 45° hingga 78°, sedangkan secara horizontal dengan menoleh ke kiri dan ke kanan sebesar 60° hingga 115°. Pada Gambar 5, garis AB dan CD adalah garis imajiner bila *audiens* menghadap ke arah *screen* tanpa menunduk/ mendongakkan kepala dan menoleh ke kiri-kanan. Dengan batas kemampuan sudut pandang mata manusia agar dapat memahami seluruh teks, simbol/ gambar dan warna yang dipresentasikan maka sebagian posisi *audiens* tidak menguntungkan karena memperoleh sudut pandang vertikal yang kurang baik, lebih dari batas maksimal 70° meskipun telah mendongak dan lebih dari batas maksimal 25° bila diukur ke bagian tengah *screen*. Secara umum sudut pandang audiens dapat dikatakan cukup baik. Lihat juga Tabel 3 dan Tabel 4.



Gambar 5. Sudut Pandang Vertikal Audiens (kiri); Sudut Pandang Horizontal Audiens (kanan)  
Sumber: Data pribadi

Tabel 3. Sudut Pandang Vertikal Audiens

Posisi <i>audiens</i>	Sudut pandang maks.	Sudut pandang ke tengah <i>screen</i>	Analisis
Terjauh dari <i>screen</i> (Titik B)	45° < batas maks. 70°	-	Sangat baik
Terdekat dari <i>screen</i> (Titik D)	78° > batas maks. 70°	-	Kurang baik
Terjauh dari <i>screen</i> (< ABO)	-	< batas maks. 25°	Sangat baik
Terdekat dari <i>screen</i> (< CDO)	-	> batas maks. 25°	Kurang baik

Sumber: Data pribadi

Tabel 4. Sudut Pandang Horizontal Audiens

Posisi <i>audiens</i>	Sudut pandang maks.	Sudut pandang ke tengah <i>screen</i>	Analisis
Terjauh dari <i>screen</i>	60° < batas maks. 120°	-	Sangat baik
Terdekat dari <i>screen</i>	115° < batas maks. 120°	-	Baik
Terjauh dari <i>screen</i> (< ABO)	-	< batas maks. 45°	Sangat baik
Terdekat dari <i>screen</i> (< CDO)	-	< batas maks. 45°	Sangat baik

Sumber: Data pribadi

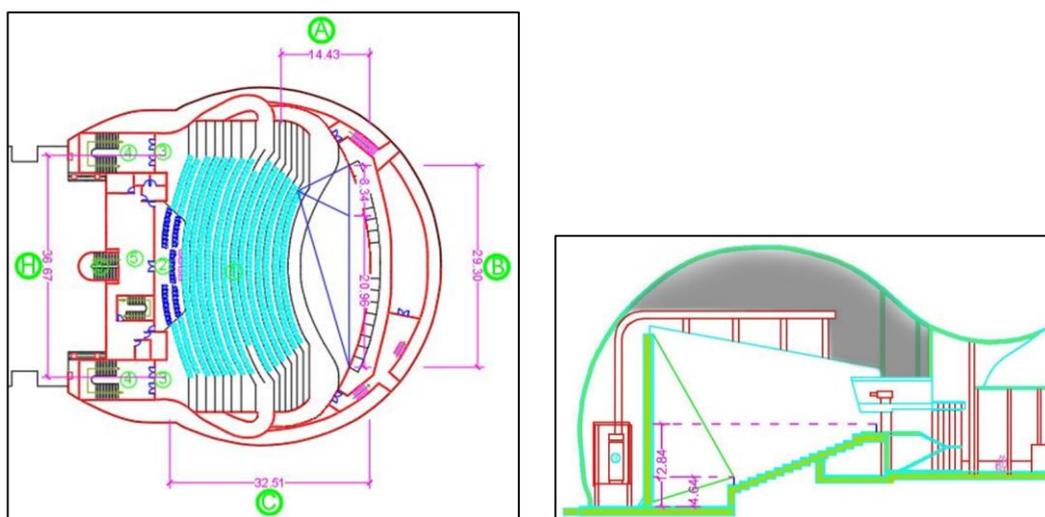
Tabel 5. Jarak dan Dimensi Terkait Mata Audiens

Aspek	Penerapan
Jarak minimum fokus mata <i>audiens</i> ke tengah <i>screen</i> (A)	14,43 m
Lebar <i>screen</i> (B)	29,30 m
Jarak fokus mata <i>audiens</i> terjauh ke tengah <i>screen</i> (C)	32,51 m
Lebar baris <i>audiens</i> (H)	36,67 m
Lebar <i>screen</i> terlihat audiens yang terdekat <i>screen</i> paling luar (0,25 Width)	8,34 m

Lebar <i>screen</i> terlihat audiens yang terdekat <i>screen</i> paling luar (0,75 Width)	20,96 m
Elevasi mata <i>audiens</i> terjauh dari <i>screen</i>	12,84 m
Elevasi mata <i>audiens</i> terdekat dari <i>screen</i>	4,64 m

Sumber: Data pribadi

Jarak minimum fokus mata *audiens* ke tengah *screen* (A) sudah lebih besar dari 3,6 m, tetapi bila sudut pandang vertikal ke arah *screen*  $78^\circ$  masih kurang memenuhi syarat, maka jarak tersebut seharusnya diperbesar sedikit, lebih dari 14,43 m agar seluruh presentasi pada *screen* masih dalam lingkup sudut pandang vertikal maksimal  $70^\circ$ . Selain itu elevasi mata *audiens* terdekat dari *screen* sebaiknya dinaikkan lebih dari 4,64 m untuk membantu perolehan sudut pandang vertikal tidak lebih dari batas maksimal  $70^\circ$  tersebut. Ditinjau secara horizontal, lebar baris *audiens* (H) sebaiknya dipertahankan agar sudut pandang horizontal yang sudah baik/ sangat baik tidak melebihi batas maksimal. Lihat Tabel 5 dan Gambar 6.

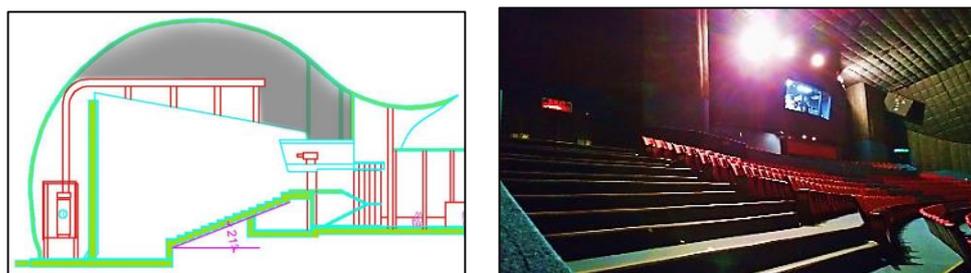


Gambar 6. Jarak Minimum Horizontal Mata *Audiens* terhadap *Screen* (kiri);  
Jarak Minimum Vertikal Mata *Audiens* terhadap *Screen* (kanan)

Sumber: Data pribadi

### 3.5 Kemiringan Lantai *Audiens*

Agar *audiens* aman dan nyaman dalam bersirkulasi di dalam ruang auditorium, rasio kemiringan lantai *audiens* yang baik adalah maksimal 1 : 8 atau berdasarkan rumus *tangen* maksimal  $7,125^\circ$ . Sudut kemiringan lantai *audiens* Teater IMAX Keong Emas adalah  $21^\circ$  jauh lebih curam dari batas maksimal, untuk mengejar diperolehnya sudut pandang vertikal *audiens* ke seluruh bagian *screen* karena jarak antar punggung kursi depan-belakang 1,27 m lebih besar dari batas 1.000 mm. Lantai *audiens* didesain *raked seating*/ berundak, maka jalur sirkulasi pada area kiri dan kanan di dalam ruang teater ini berupa tangga bukan *ramp*, maka sudut  $21^\circ$  ini masih cukup baik. Lihat Gambar 7.

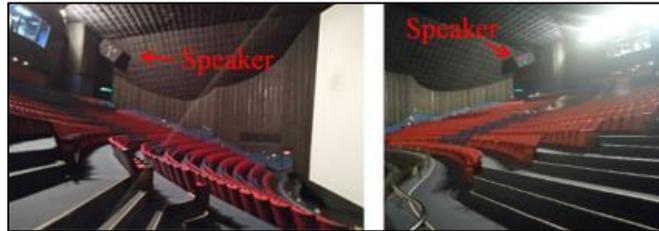


Gambar 7. Sudut Kemiringan Lantai *Audiens* (kiri); Jalur Sirkulasi Lantai *Audiens* (kanan)

Sumber: Data pribadi

### 3.6 Desain Plafon

Plafon pada ruang Teater IMAX Keong Emas tidak didesain parsial sebagai *reflector*/ pemantul bunyi dengan panjang minimal masing-masing bidangnya tidak kurang dari 4 kali rata-rata panjang gelombang bunyinya (lihat Gambar 7). Sistem tata suara sepenuhnya mengandalkan teknologi IMAX yang kualitas bunyinya sudah sangat baik untuk mendukung perolehan bunyi dengan jelas dan keras merata bagu *audiens*. Bila terjadi penurunan intensitas bunyi akibat menjauhnya lokasi *audiens* dari sumber bunyi utama berupa *speaker* utama di balik *screen*, dengan bantuan beberapa buah *speaker* tambahan di area belakang ruang maka bunyi tetap dapat terdengar keras merata ke seluruh ruangan (lihat Gambar 8). Dengan plafon yang tidak optimal difungsikan sebagai *reflector* bunyi, dengan adanya teknologi IMAX maka desain plafon masih dapat dikatakan baik.



Gambar 8. Alokasi *Speaker* Tambahan di Area Belakang Ruang Teater

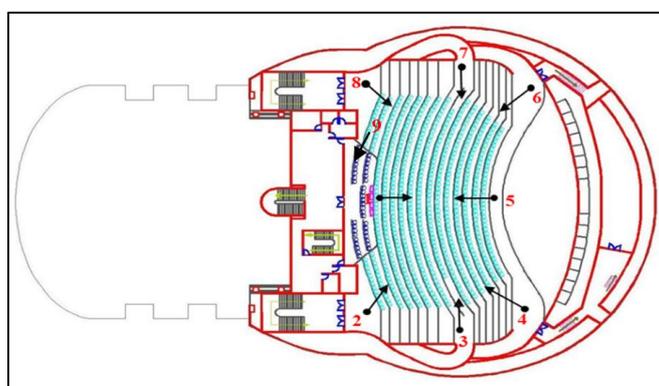
Sumber: Data pribadi

Bila plafon akan didesain ideal *Reflective Shell*/ parsial berundak, maka agar diperoleh pantulan bunyi yang merata ke seluruh audiens sesuai hukum Snellius (sudut datang sama dengan sudut pantul) masing-masing bidang plafon tersebut harus memiliki kemiringan yang tepat. Dengan fungsi teater yang mempresentasikan film, maka terjadi bunyi percakapan dan musik dengan rentang frekuensi 50 Hz hingga 8.500 Hz, sehingga berlaku sebagai acuan penentuan panjang bidang plafon ( $x$ ) adalah rata-rata frekuensi bunyi ( $f$ ) 1.000 Hz. Dengan kecepatan rambat bunyi dalam ruang  $v = 340$  m/det, panjang gelombang  $\lambda = v/f$ , dan  $x \geq 4\lambda$ , maka panjang bidang plafon minimal yang dibutuhkan  $x = 4\lambda = 4v/f = 4 \times 340/1.000 = 1,36$  m.

### 3.7 Material Akustik Interior

Dengan konsep arsitektur biomimikri yang meniru bentuk keong sawah, gubahan massa pada cangkangnya telah memungkinkan desain ruang teater tidak berbentuk *shoe box* sehingga dapat mereduksi adanya permukaan sejajar berhadapan yang menimbulkan cacat akustik baik *echo*/ gema maupun *flutter echo*/ gaung. Untuk efektifitas penggunaan ruang, tidak dapat dihindari terdapat permukaan-permukaan dinding yang lurus bahkan sejajar berhadapan seperti pada dinding samping kiri dan kanan area *audiens*. Untuk itu pada dinding berhadapan tersebut diberi lapisan akustik *absorber* berupa karpet yang membantu penyerapan energi bunyi agar tidak terjadi pemantulan bunyi berulang melintasi ruang teater dari kiri ke kanan dan sebaliknya (lihat Gambar 9 *View 4* dan *View 8*). Dinding depan ruang teater dominan ditutupi *screen* vinyl (lihat Gambar 9 *View 1* dan *View 2*), sementara dinding belakang seperti pada kiri dan kanan ruang juga dilapisi karpet yang bersifat *absorber* agar energi bunyi tidak terpantul lagi ke arah depan dan mengakibatkan cacat akustik *echo*/ gema (lihat Gambar 9 *View 6*). Pintu aksesibilitas masuk dan keluar ruang menggunakan kayu yang fleksibel mengakomodasi berbagai frekuensi bunyi. Seluruh permukaan lantai dilapisi karpet tipis yang bersifat *absorber* untuk mereduksi terjadinya cacat akustik *echo*/ gema akibat pantulan bunyi ke arah plafon sekaligus mengurangi bising yang timbul dari injakan kaki *audiens*. Plafon tidak difungsikan sebagai *reflector* maka tidak menggunakan material yang keras dan licin. Seluruh plafon dan bagian atas dinding diberi lapisan akustik yang bersifat *diffuser* karena memiliki tekstur dengan pola kotak-kotak kecil, sehingga dapat membantu pemantulan bunyi dari *speaker* secara tersebar lebih merata ke arah *audiens* (lihat Gambar 9 *View 3*, *View 6*, dan *View 7*). Seluruh kursi audiens beserta sandarannya menggunakan material empuk yang bersifat sebagai *absorber* (lihat Gambar 9 *View 5* dan *View 9*).

Berdasarkan pengamatan, terlihat material lapisan akustik yang paling banyak digunakan adalah *absorber* penyerap energi bunyi pada dinding dan lantai, serta *diffuser* penyebar energi bunyi pada plafon, dengan efisiensi yang berbeda dalam penyerapan energi bunyi. Meskipun bentuk dasar denah sudah lengkung dan bidang permukaan sejajar yang terjadi telah dibatasi, material yang bersifat *reflector* tetap sangat dibatasi penggunaannya karena untuk perolehan bunyi keras dan merata bagi seluruh audiens, telah digunakan alat bantu *speaker* dengan teknologi IMAX. *Absorber* sangat berperan dalam penyerapan energi bunyi pantul yang berpotensi menimbulkan cacat akustik gema dan gaung, termasuk bunyi pantul dengan waktu tunda terlambat dan berpotensi mengganggu karena menimpa bunyi asli yang telah terdengar. Penerapan lapisan akustik berupa *absorber* yang dominan pada interior ruang teater menunjukkan bahwa kejelasan bunyi (egibilitas) sangat penting diperoleh mengingat jenis tayangan yang dipresentasikan adalah film dokumentar edukatif yang banyak memperdengarkan narasi/ bunyi percakapan. Lapisan *absorber* ini berlapis-lapis dan berfungsi juga sebagai *insulator* untuk mereduksi rambatan bunyi bising ke luar ruang teater. Material kursi *audiens* yang empuk sehingga bersifat *absorber* telah tepat digunakan untuk membantu mereduksi cacat akustik gema yang mungkin masih dapat terjadi, sebagai antisipasi bila okupansi ruang sedikit dimana jumlah audiens yang bersifat *absorber* telah berkurang banyak. Secara umum penerapan material akustik pada Teater IMAX Keong Emas sudah sangat baik.



View 1



View 2



View 3



View 4



View 5



View 6



View 7



View 8



View 9

**Gambar 9. Key Plan Interior Ruang Teater**

Sumber: Data pribadi

#### 4. SIMPULAN

Berikut pembobotan atas hasil analisis dari setiap variabel yang dianalisis (lihat Tabel 6). Nilai 4 untuk sangat baik, 3 untuk baik, 2 untuk cukup baik, dan 1 untuk kurang baik. Dari hasil rata-rata diperoleh nilai persentase keberhasilan desain Teater IMAX Keong Emas dengan konsep arsitektur biomimikri. Ketercapaian persentase 80,00%-100,00% sangat baik, 65,00%-80,00% baik, 50,00%-65,00% cukup baik, dan < 50,00% kurang baik.

**Tabel 6. Pembobotan Variabel Penelitian**

Aspek	Penerapan	Perkalian Bobot	Nilai
Konsep bentuk bangunan	Baik	1 x 3	3
Dimensi dan proporsi bangunan	Baik	1 x 3	3
Bentuk ruang teater	Baik	1 x 3	3
Dimensi dan proporsi ruang teater	Baik	1 x 3	3
Pengaturan kursi <i>audiens</i>	Cukup baik	1 x 2	2
Sudut pandang <i>audiens</i>	Cukup baik	1 x 2	2
Kemiringan lantai <i>audiens</i>	Cukup baik	1 x 2	2
Desain plafon	Baik	1 x 3	3
Material akustik interior	Sangat baik	1 x 4	4
Total			25
Kondisi ideal		9 x 4	36
Persentase		$(25/36) \times 100\% = 69,44\%$	

Sumber: Data pribadi

Berdasarkan pembobotan variabel pada Tabel 6 tersebut, dengan mengacu pada variabel penelitian yang telah dianalisis diperoleh persentase keberhasilan desain Teater IMAX Keong Emas sebesar 69,44% (baik), ditinjau dari keberhasilan penerapan konsep arsitektur biomimikri, kualitas akustik, termasuk sudut pandang *audiens*.

Nilai kebaruan yang dihasilkan berdasarkan analisis pada desain teater dengan arsitektur Biomimikri:

1. Arsitektur biomimikri dapat diterapkan pada bangunan auditorium selama menghasilkan dimensi dan proporsi ruang auditorium yang mendukung perolehan kualitas akustik dan visual yang baik
2. Sudut pandang *audiens* sangat dipengaruhi layout/ pengaturan kursi dan kemiringan lantai *audiens*. Berdasarkan dimensi dan alokasi *screen*, maka kursi *audiens* dapat diatur dimensi dan jarak pemasangannya juga lantai *audiens* dapat diatur kemiringannya, sehingga diperoleh sudut pandang *audiens* baik vertikal dan horizontal mencakup seluruh *screen* tersebut yang memberikan kenyamanan visual
3. *Sound system/* sistem tata suara sangat membantu perolehan bunyi keras merata bagi seluruh *audiens*. Bila telah menerapkan sistem tata suara yang berkualitas sangat baik, maka plafon tidak harus difungsikan sebagai *reflector* atau pemantul bunyi dan dapat hanya dilapisi material akustik yang bersifat *diffuser* atau penyebar bunyi
4. Bila lebih memerlukan kejelasan bunyi percakapan dibandingkan bunyi musik, interior auditorium sebaiknya didominasi material akustik *absorber* atau penyerap bunyi

Saran terhadap pengembangan desain auditorium selanjutnya:

1. Walaupun tingkat keterbutuhan kursi *audiens* tinggi, sebaiknya tetap tersedia koridor sirkulasi di lantai *audiens* dengan beberapa lokasi strategis serta jumlah dan lebar yang cukup. Hal ini sangat mendukung kemudahan gerak *audiens* terutama bila harus melakukan evakuasi
2. Dimensi ruang auditorium harus cukup untuk mengakomodasi kebutuhan *audiens* agar alokasi kursi *audiens* berada pada jarak yang tepat dari *screen* dan mendukung perolehan sudut pandang yang memenuhi syarat kenyamanan visual

Berdasarkan paparan dari seluruh variabel yang telah dianalisis termasuk kesimpulannya, tercapai tujuan penelitian untuk memaparkan pemahaman terkait perolehan kualitas akustik juga kualitas visual pada ruang auditorium pada bangunan yang didesain dengan konsep arsitektur biomimikri.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Sebagai penulis dengan kerendahan hati kami semua mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya atas izin dan bantuan yang telah diberikan oleh para pimpinan dan staf kantor manajemen Teater IMAX Keong Emas, sehingga kami dapat melakukan pengukuran lapangan, pengamatan langsung, dokumentasi, serta wawancara, yang seluruhnya sangat dibutuhkan untuk kelengkapan perolehan data dan proses analisis dalam penelitian ini.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badhira, M. Mundher, Muhsina, Rahmath, and A. Samson, "PLANNING, ANALYSIS AND DESIGN OF AN AUDITORIUM BUILDING," *Int. Res. J. Eng. Technol.*, vol. 6, no. 5, pp. 5810–5816, 2019, [Online]. Available: [www.irjet.net](http://www.irjet.net).
- [2] A. K. Ghuge, D. H. Tupe, and G. R. Gandhe, "Design and analysis of auditorium using STAAD Pro software," 2021. [Online]. Available: <https://www.ijariit.com>.
- [3] G. Fajarwati and A. Dinapradipta, "FLEKSIBILITAS PANEL BERDASARKAN ARAH SUMBER BUNYI PADA RANCANGAN RUANG AUDITORIUM KESENIAN JAWA TIMUR," *MODUL*, vol. 21, no. 2, pp. 162–170, Dec. 2021, doi: 10.14710/mdl.21.2.2021.162-170.
- [4] S. Rayes, S.-I. Sato, and A. Chorubczyk, "EFFECT OF VISUAL IMAGES ON PERCEIVED AUDITORY DISTANCE IN A SMALL AUDITORIUM," Buenos Aires, Argentina, 2013.
- [5] S. Priya, V. reddy, D. reddy, Gopi, and S. Sekhar, "Design of an Auditorium Building," *Int. J. Innov. Res. Sci. Eng. Technol.*, vol. 7, no. 4, pp. 4247–4259, 2018, doi: 10.15680/IJIRSET.2018.0704052.
- [6] Y. Ramadhanti, F. Taufik, R. Hehanussa, and A. E. Rauf, "Persepsi Visual Audience pada Penataan Interior Auditorium Studi Kasus: Auditorium Prof. Mattulada Fakultas Sastra Universitas Hasanuddin," in *Prosiding Temu Ilmiah IPLBI*, 2014, pp. 47–54.
- [7] O.: Meilin and A. Nainggolan, "KAJIAN PENATAAN AUDITORIUM UNTUK CONVENTION CENTRE DI MARINA CONVENTION CENTRE SEMARANG," *IMAJI*, vol. 9, no. 6, pp. 631–640, 2020.
- [8] R. Gjestland, "A Best Practices Guide Architecture Viewing Conditions - European Digital Cinema Forum," 2019. [Online]. Available: <http://www.harkness-screens.com/digital-screen-modeller/>.
- [9] H. Sutanto, *Prinsip-Prinsip Akustik dalam Arsitektur*. Yogyakarta: PT Kanisius, 2015.
- [10] M. Jedidi and A. Boulila, "Acoustic study of an auditorium by the determination of reverberation time and speech transmission index," *Int. J. Archit. Eng. Urban Plan.*, vol. 26, no. 1, pp. 25–32, 2016.
- [11] L. Doelle, *Environmental Acoustics. Terj: Akustik Lingkungan*. Jakarta: Erlangga, 1985.
- [12] R. J. Zhang, "Analysis on the Acoustics of an Auditorium," *Open J. Acoust.*, vol. 10, no. 02, pp. 19–40, 2020, doi: 10.4236/oja.2020.102002.
- [13] C. E. Mediastika, *Akustika Bangunan: Prinsip-prinsip dan Penerapannya di Indonesia*. Jakarta: Erlangga, 2005.
- [14] F. A. Everest, *THE MASTER HANDBOOK OF ACOUSTICS*, Fourth. McGraw-Hill, 2001.
- [15] D. Nurwidyaningrum and S. Kurniasih, "WAKTU DENGUNG EFEKTIF UNTUK DESAIN MULTIFUNGSI AUDITORIUM PENDIDIKAN," *POLITEKNOLOGI*, vol. 12, no. 2, pp. 11–16, 2013.
- [16] Z. Gou and S. Lau, "Acoustic Design for an Auditorium Project - Using Building Performance Simulation to Enhance Architectural Quality," in *Back to the Future: The Next 50 Years*, 2017, pp. 167–176.

- [17] A. Szeląg and A. Flaga, “An Acoustic Study of the Auditorium Hall to be Located in the Proposed Building of the Applied Acoustics Laboratory of Cracow University of Technology,” *Tech. Trans. - Civ. Eng.*, pp. 343–357, 2015.
- [18] Y. Febrita, “OPTIMASI MATERIAL AKUSTIK UNTUK PENINGKATAN KUALITAS BUNYI PADA AUDITORIUM MULTI-FUNGSI,” *LANTING J. Archit.*, vol. 2, no. 1, pp. 29–35, 2013.
- [19] P. Sharma and N. Prakash, “Parameters for Acoustic Design in Auditorium,” *Int. J. Recent Technol. Eng.*, vol. 8, no. 4, pp. 11973–11976, Nov. 2019, doi: 10.35940/ijrte.d9924.118419.
- [20] R. Rao, “Biomimicry in Architecture,” *Int. J. Adv. Res. Civil, Structural, Environmental Infrastruct. Eng. Dev.*, vol. 1, no. 3, pp. 101–107, 2014.
- [21] M. S. Aziz and A. Y. El Sherif, “Biomimicry as an approach for bio-inspired structure with the aid of computation,” *Alexandria Eng. J.*, vol. 55, no. 1, pp. 707–714, Mar. 2016, doi: 10.1016/j.aej.2015.10.015.
- [22] R. Chairiyah and A. Sarwadi, “Application of Adaptive Structure based on Natural Inspiration on Biomimicry Architecture,” *J. Archit. Des. Urban.*, vol. 1, no. 1, pp. 40–48, Sep. 2018, doi: 10.14710/jadu.v1i1.3247.