

# Desain Taman Atap pada Gedung SMP Pesat Bogor Berdasarkan Preferensi Pengguna

## *Roof Garden Design at SMP Pesat Bogor Building Based on User Preferences*

Muhammad Arif Ramadhan<sup>1\*</sup>, Indung Sitti Fatimah<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departemen Arsitektur Lanskap, Fakultas Pertanian, IPB University

\*Email: [muharifra@gmail.com](mailto:muharifra@gmail.com)

### Artikel Info

Diajukan: 29 Desember 2022  
Direvisi: 22 April 2024  
Diterima: 22 April 2024  
Dipublikasi: 01 Oktober 2024

### Keywords

*Green Open Space*  
*Roof Garden*  
*School Building*

### ABSTRACT

*The increasing rate of urbanization on limited urban land has resulted in reduced green open space in urban areas. Therefore, the design of a roof garden on a school building can be a solution to increase the area of green open space and a place for outdoor learning activities. This study aims to analyze the potential and constraints on the site so that a roof garden design can be developed according to user preferences. The stages of work consist of project acceptance, research/analysis, concepts, and construction drawings. The design concept applied is inspired by the organically formed Falco peregrinus. The results of this study are in the form of a roof garden site plan as well as detailed pictures of the facilities used in the roof garden of building 3 SMP-SMA-SMK Informatika Pesat where the results obtained are the result of user preferences where users like places with a comfortable, aesthetic and cool atmosphere. The results of the study are to create a roof garden on a school building that can function as green open space and a refreshing area as well as a teaching and learning area.*

## PENDAHULUAN

### Latar Belakang

Peningkatan urbanisasi dan kepadatan di lanskap perkotaan memberikan beberapa masalah serius seperti berkurangnya Ruang Terbuka Hijau (RTH) (Budiman *et al.* 2014; Pratiwi *et al.* 2020; Fitriana *et al.* 2023). Hal ini menjadi salah satu masalah yang dihadapi Kota Bogor. Berdasarkan UU RI No. 26 tahun 2007 tentang Penataan Ruang, kota dan kabupaten harus mengalokasikan 30% luas wilayah untuk keperluan RTH. Sementara itu, menurut Wakil Walikota Bogor Dedie A. Rachim, RTH pada Kota Bogor baru mencapai 18% (Saudale 2021). Terbatasnya lahan di Kota Bogor menjadi tantangan untuk menambah luasan RTH. Akan tetapi, menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 5 hal tersebut dapat diatasi dengan penambahan RTH privat pada atap bangunan seperti taman atap.

Berkembangnya zaman dan teknologi penggunaan taman atap menjadi solusi yang diminati banyak kalangan masyarakat. Penelitian menunjukkan banyak manfaat yang didapat dengan menerapkan taman atap baik dalam bidang sosial, ekologi, dan ekonomi. Taman atap dapat memberikan manfaat dalam mengatasi polusi udara, pengendalian air hujan, dan keanekaragaman hayati, serta memberikan dampak lainnya seperti rekreasi, pertanian, dan ruang untuk masyarakat (Tang dan Zheng 2019). Taman atap dapat dikategorikan menjadi empat yaitu intensif, semi intensif, ekstensif tunggal, dan multi ekstensif. Perbedaanannya dapat dilihat dari biaya pembuatan, perawatan, serta pemilihan jenis tanaman (GSA dalam Shafique *et al.* 2018).

Pada tanggal 31 Desember 2019 *World Health Organization* (WHO) mengumumkan bahwa adanya kemunculan kasus pneumonia yang sekarang disebut Covid-19. Kemudian pada bulan Maret 2020 virus tersebut dilaporkan muncul pertama kali di Indonesia dan menyebabkan

lumpuhnya beberapa kegiatan salah satunya di bidang pendidikan. Hal ini menyebabkan kegiatan belajar dilakukan secara daring untuk menghindari penularan virus Covid-19. Setelah satu tahun berlalu Menteri Pendidikan dan Kebudayaan (Mendikbud) Nadiem Makarim bersama pemerintah mulai mempertimbangkan kembali diadakannya sekolah tatap muka terbatas dengan memperhatikan protokol kesehatan (Maulipaksi 2021). Kegiatan belajar mengajar tidak selalu harus dilakukan di dalam kelas dapat juga dilakukan di luar kelas seperti halaman sekolah sehingga dapat mengurangi resiko penularan Covid-19. Namun, pada beberapa sekolah luas halaman yang tersedia tidak sesuai dengan kapasitas murid yang ada, ditambah dengan adanya aturan jaga jarak.

Penggunaan taman atap pada bangunan sekolah masih jarang ditemui di Indonesia. Terbatasnya lahan di area sekolah menyebabkan RTH maupun ruang gerak pelajar menjadi terbatas. Padahal di masa pasca-pandemi lebih dianjurkan untuk melakukan aktivitas di luar ruangan (Arifin *et al.* 2021; Faisal *et al.* 2022; Nurrohimah dan Fatimah 2022). Kegiatan di luar ruangan juga dapat memberikan kesan yang baru atau merubah suasana para pelajar dan pengajar setelah beberapa bulan sebelumnya belajar mengajar biasanya dilakukan secara daring pada rumah masing-masing. Oleh karena itu, perlu dilakukan studi mengenai desain taman atap yang sesuai dengan preferensi masyarakat di lingkungan sekolah sehingga penggunaan lahan sekolah dapat dimaksimalkan baik untuk kegiatan belajar mengajar maupun beristirahat.

### Tujuan dan Manfaat Penelitian

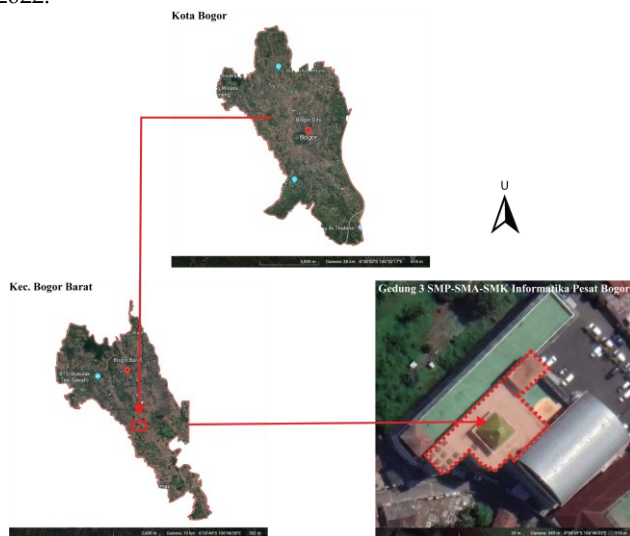
Tujuan penelitian ini adalah mengidentifikasi potensi dan kendala serta memberikan analisis dan sintesis, menentukan tipe dan konsep yang sesuai pada tapak, serta membuat desain taman atap sesuai dengan preferensi pengguna pada Gedung 3 bangunan SMP-SMA-SMK Informatika Pesat. Hasil penelitian ini dapat dijadikan

masukan dan rekomendasi desain taman atap bagi pihak Yayasan Pesat Birrul Walidain dan SMP Pesat dalam menerapkan hasil rancangan taman atap pada bangunan SMP-SMA-SMK Informatika Pesat. Selain itu, penelitian ini juga diharapkan dapat menjadi inspirasi bagi sekolah lainnya yang tertarik penggunaan taman atap pada bangunan sekolahnya.

## METODE PENELITIAN

### Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan pada atap Gedung 3 bangunan SMP-SMA-SMK Informatika Pesat Bogor yang berlokasi di Jl. Poras No. 7, RT. 01/RW. 04, Sindang Barang Loji, Kecamatan Bogor Barat, Kota Bogor, Jawa Barat. Waktu penelitian dari mulai tahap persiapan administratif hingga pembuatan desain taman atap dilakukan pada bulan Januari 2022 hingga Juni 2022.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

### Tahapan Kerja

Tahapan kerja yang digunakan pada penelitian mengacu pada proses desain Booth (1983). Proses desain terdiri dari beberapa tahapan dimulai dari penerimaan proyek, riset/analisis, konsep, dan gambar konstruksi. Pada tahap analisis-sintesis dilakukan analisis konstruksi bangunan, analisis deskriptif, dan analisis kuantitatif sehingga kendala dan potensi pada masing-masing aspek dapat diketahui. Menurut Sugiyono (2017) analisis deskriptif merupakan kegiatan menganalisis data yang diperoleh tanpa membuat kesimpulan yang bersifat umum. Analisis deskriptif digunakan untuk mengolah data fisik dan biofisik yang diperoleh dari survei lapang serta data sosial dari hasil wawancara dan hasil kuesioner. Sementara itu, analisis kuantitatif digunakan untuk mengetahui nilai *Temperature Humidity Index* (THI) dan daya dukung pada tapak. Adapun aspek yang diamati terdiri dari aspek fisik dan biofisik serta aspek sosial.

#### Aspek Fisik dan Biofisik

Data fisik dan biofisik terdiri dari lokasi dan luas tapak, aksesibilitas dan sirkulasi, visual, iklim, dan hidrologi. Pada tahap analisis-sintesis dilakukan analisis konstruksi bangunan, analisis deskriptif, dan analisis kuantitatif. Tidak diperolehnya gambar bestek maka analisis konstruksi bangunan dengan *software SAP2000* tidak dapat dilakukan. Meskipun peneliti tidak berhasil mendapatkan gambar bestek, namun sebetulnya tapak penelitian secara eksisting sudah disiapkan sebagai taman atap dan sudah dipergunakan tetapi belum di desain secara detail. Oleh karena itu, data konstruksi bangunan diperoleh

dengan melakukan pengukuran ulang pada tapak secara keseluruhan. Selain itu, dilakukan juga pengukuran pada lantai 1, lantai 2, lantai 3, dan lantai 4 bangunan dengan memfokuskannya pada letak kolom sehingga dapat dilakukan *overlay* menggunakan aplikasi *Blender*. Sementara itu, analisis kuantitatif digunakan untuk mengetahui nilai THI dan daya dukung pada tapak. Pengukuran THI dihasilkan dengan rumus sebagai berikut:

$$THI = 0,8 T + \frac{RH \times T}{500}$$

Keterangan:

THI : *Temperature Humidity Index*

T : Suhu udara (°C)

RH : Kelembaban udara (%)

Perhitungan daya dukung terdiri dari beban mati (elemen *hardscape*, elemen *softscape*, media tanam, dan lain sebagainya) dan beban hidup (manusia dan air hujan). Perhitungan dilakukan menggunakan rumus massa jenis dengan mengasumsikan beban terbagi rata pada tapak. Sementara itu, simulasi beban total pada tapak tidak dilakukan karena tidak diperolehnya gambar bestek.

#### Aspek Sosial

Data sosial diperoleh melalui kuesioner yang disebar ke beberapa murid (kelas 7, kelas 8, dan kelas 9), guru, dan staf SMP Pesat menggunakan Google Form. Selain itu, dilakukan juga wawancara ke beberapa orang dari pihak sekolah. Wawancara lebih difokuskan kepada guru dan staf sekolah yang sedang bertugas di sekolah. Pengambilan data melalui kuesioner dilakukan dua kali. Data pertama digunakan untuk mendapatkan referensi dalam pembuatan *preliminary design*, sedangkan data kedua untuk menentukan *preliminary design* mana yang akan dikembangkan menjadi sebuah *site plan*.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Kondisi Umum

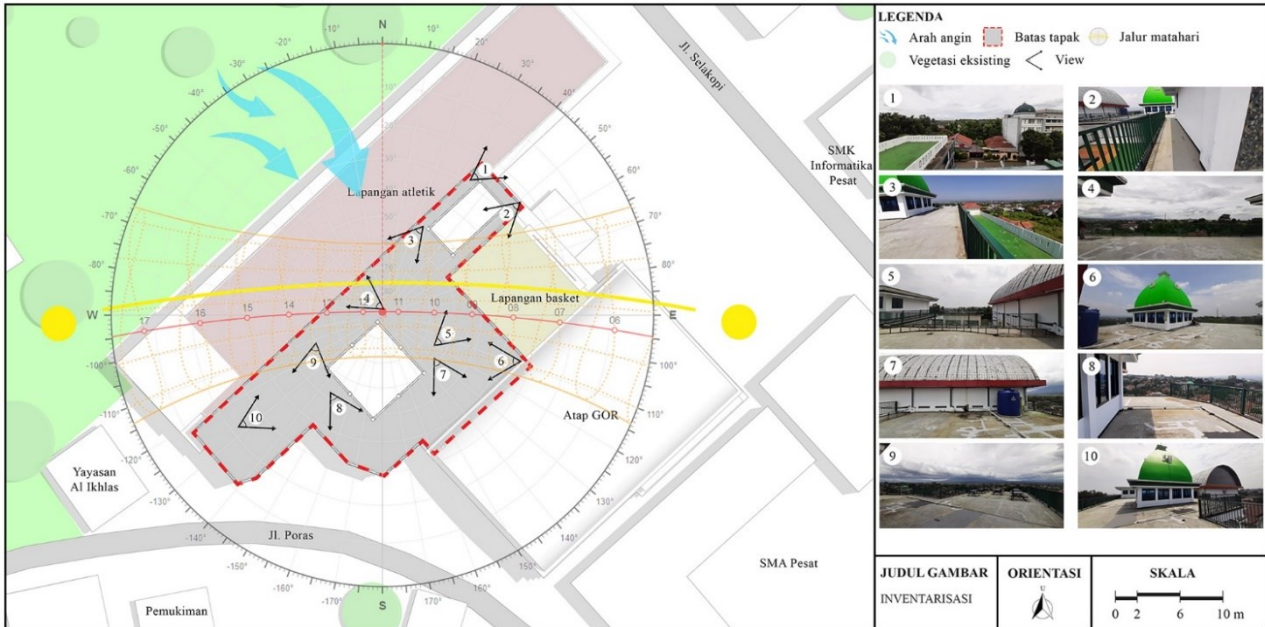
Sekolah Pesat mulai berdiri pada tahun 1983, pada awalnya sekolah ini bernama sekolah Yayasan Pembangunan kemudian berganti nama menjadi Yayasan Pesat (Pembangunan I) dan sekarang menjadi Yayasan Pesat Birrul Walidain. Birrul Walidain merupakan kata bakti kepada orang tua atau motivasi dalam mengembangkan karakter anak-anak untuk berbakti dan memuliakan orang tuanya. Sekolah Pesat pada awalnya hanya memiliki satu bangunan dengan satu lantai (Gedung 1) yang terdiri dari tingkat SMP dan SMA. Kemudian setelah Indonesia mulai mencanangkan kejuruan, Sekolah Pesat menambahkan tingkatan SMK. Semakin berkembangnya sekolah maka dibangun juga dua Gedung baru (Gedung 2 dan Gedung 3). Pada saat ini Gedung 1 digunakan untuk SMA, Gedung 2 untuk SMK, dan Gedung 3 untuk SMP. Bagian yang membedakan antara gedung 1, 2, dan 3 yaitu pada Gedung 3 terdapat GOR dan *rooftop*. Namun, kedua fasilitas ini dapat digunakan juga untuk murid dari SMA dan SMK.

#### Analisis dan Sintesis

##### Aspek Fisik dan Biofisik

###### a. Lokasi dan Luas Tapak

Data hasil inventarisasi diperoleh dari survei langsung ke tapak. Tapak penelitian terletak pada *rooftop* Gedung 3 SMP-SMA-SMK Informatika Pesat Bogor dengan letak geografisnya berada pada 6°34'59" LS dan 106°46'03" BT dengan ketinggian 210-220 m dpl. Tapak berada pada lantai 5 dengan luas 538 m<sup>2</sup>. Pada kondisi eksisting terdapat pagar



Gambar 2. Inventarisasi

pembatas dengan ketinggian 1,2 m pada setiap sisi, kecuali pada sebagian sisi timur yang dibatasi oleh tembok dari bangunan GOR. Penggunaan pagar yang cukup tinggi pada setiap sisi tapak sudah sesuai dengan standar *International Building Code* (IBC) pengaman yaitu 42 inci atau lebih kurang 1,07 m dengan pengukuran dari area permukaan yang berdekatan dengan pagar pembatas. Luas tapak yang tidak terlalu luas harus dapat digunakan untuk beberapa kegiatan seperti beristirahat, bersantai, maupun kegiatan belajar mengajar. Oleh karena itu, perencanaan pembangunan dan pemanfaatan ruang harus dimaksimalkan dengan penambahan fasilitas penunjang seperti untuk berdiskusi, *seating* dan *viewing area*.

**b. Aksesibilitas dan Sirkulasi**

Lokasi *rooftop* yang berada di lantai 5 dapat diakses menggunakan tangga maupun menaiki lift hingga lantai 4 kemudian dilanjutkan dengan tangga. Tangga untuk menuju *rooftop* dan lift tersebut terletak pada bagian barat bangunan. Pada bangunan sendiri terdapat beberapa tangga yang tersebar. Namun, untuk mengakses *rooftop* tersebut hanya ada satu jalur yaitu menggunakan tangga yang bersebelahan dengan lift pada bagian barat bangunan. Kondisi sirkulasi eksisting tapak sendiri belum ada penataan sehingga perlu adanya desain sirkulasi yang jelas untuk memudahkan pengguna mengakses tempat berdasarkan pembagian ruang. Penerapan desain sirkulasi dengan pola yang menarik juga akan memberikan kesan yang indah dan membuat pengguna nyaman (Desta dan Kaswanto 2021; Nurrohimah dan Fatimah 2022; Putra et al. 2022).

**c. Visual**

Pada tapak terdapat *borrowing view* utama berupa dua gunung yang berada di Bogor yaitu Gunung Salak dan Gunung Pangrango. Hal ini dapat dilihat pada sisi selatan tapak yang menjadikannya nilai utama dan *good view*. Pemilihan desain dengan pola yang sederhana dan menghindari elemen lanskap yang dapat menutupi *borrowing view* diutamakan. Pemilihan vegetasi yang tidak terlalu tinggi seperti rumput dan tanaman semak kecil dalam pot dapat digunakan pada bagian selatan. Penambahan vegetasi ini dapat memberikan kesan segar. Penggunaan naungan payung dapat diterapkan agar pengguna merasa nyaman terutama ketika siang hari tetapi dapat menikmati juga

matahari pagi. Alternatif lain seperti penggunaan pergola dapat diterapkan dengan mendesain pergola yang dapat mengarahkan cahaya matahari pagi. Namun, dapat melindungi pengguna pada siang hari.

Pada sisi utara tapak terdapat *view* Gedung 2 (SMK Pesat) dengan pohon-pohon besar pada sisi kirinya. Pada bagian ini juga terdapat pintu masuk menuju tapak. Luas area di sekitar pintu masuk yang terbatas dapat digunakan sebagai *lawn* sehingga dapat memaksimalkan fungsi penghijauan. Penggunaan *lawn* akan dikombinasikan dengan *stepping stone* sehingga alas kaki pengguna tidak kotor terutama ketika area tersebut dalam keadaan basah. *View* pada bagian barat tapak didominasi oleh pohon-pohon, sedangkan pada sisi timur ditutupi oleh tembok dan atap GOR. Selain itu, adanya beberapa alat-alat kerja, toren air, dan pipa air yang melintas membuat bagian ini menjadi *bad view*. Bagian timur tapak ini dapat dimanfaatkan sebagai area untuk berdiskusi karena areanya yang cukup luas dibandingkan sisi lain tapak. Sedangkan tembok GOR dapat dimanfaatkan sebagai kebun vertikal. Pada area sekitar toren air dapat dibuat sebuah gudang untuk meredam suara agar pengguna tidak terganggu dari suara pompa air, selain itu ruangan tersebut juga dapat digunakan untuk meletakkan peralatan kerja. Pada bagian luar gudang dapat dimanfaatkan sebagai galeri untuk peletakan gambar atau foto karya dari para murid.

**d. Iklim**

Menurut data BMKG tahun 2021 suhu udara terendah berada pada 19,3°C yang terjadi pada bulan Juli dan suhu tertinggi berada pada 34,2°C pada bulan Desember. Adapun suhu rata-rata pada tahun 2021 yaitu 22,2-31,7°C. Rata-rata kelembapan Kota Bogor berada pada angka 84%. Curah hujan mengalami naik turun dengan curah hujan tertinggi di Januari dan terendah pada April. Lama penyinaran matahari terlama berada pada bulan Agustus selama 7 jam dan terpendek pada bulan Januari 1,6 jam. Kecepatan angin maksimum memiliki rata-rata diantara 3,8 m/s hingga 5,6 m/s dengan arah angin didominasi dari arah selatan dan barat daya. Kecepatan angin pada setiap bulannya tidak terlalu mengalami perubahan rata-rata 1,1 m/s.

$$THI = 0,8 T + \frac{RH \times T}{500} = 0,8 (26,1) + \frac{84,2 \times 26,1}{500} = 25,3$$

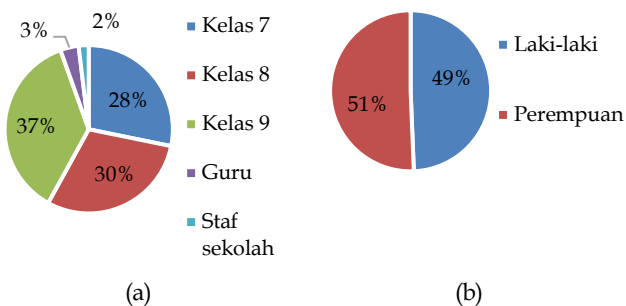


Diperoleh nilai THI pada lokasi penelitian yaitu 25,3 sehingga dapat dikategorikan dalam kondisi nyaman (Effendy 2007). Oleh karena itu, modifikasi iklim pada lokasi penelitian tidak terlalu diperlukan. Namun, penambahan naungan dan pengaturan angin pada tapak dapat digunakan untuk meningkatkan kenyamanan (Adjam dan Renoat 2017; Femy *et al.* 2017; Handiansyah 2021). Hal ini dapat dilakukan dengan pemberian kanopi atau pergola dan penggunaan vegetasi.

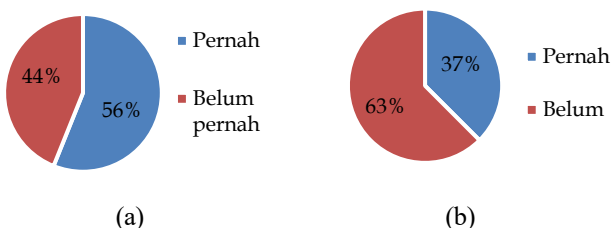
**e. Hidrologi**

Tapak memiliki total 22 lubang drainase yang tersebar pada sisi dan tengah tapak. Sumber utama air yang memasuki tapak berasal dari air hujan. Air tersebut kemudian akan di arahkan ke lubang drainase dan dialirkan menuju saluran drainase yang berada di lantai dasar. Namun, pada beberapa area terlihat adanya genangan akibat air hujan. Oleh karena itu, perlu adanya perbaikan pada area yang memiliki genangan dan hal tersebut dapat dilakukan dengan meninggikan dan membuat kemiringan untuk mengarahkan air menuju saluran drainase. Penempatan *lawn* atau beberapa tanaman juga dapat dilakukan sehingga air dapat diserap oleh tanaman dan tidak menggenang.

Berdasarkan hasil kuesioner diperoleh responden sebanyak 312 orang dengan persentase responden terbanyak berada pada kelas 9 (Gambar 3a). Terdapat total 154 responden laki-laki dan 158 responden perempuan (Gambar 3b). Masih banyak murid SMP Pesat yang belum pernah mendengar tentang taman atap baik dari kelas 7, kelas 8, dan kelas 9. Namun, untuk guru dan staf sekolah lebih dominan sudah mengetahuinya (Gambar 4a). Sementara itu, lebih banyak responden yang belum pernah pergi atau mengunjungi taman atap baik dari para murid maupun guru dan staf sekolah (Gambar 4b).



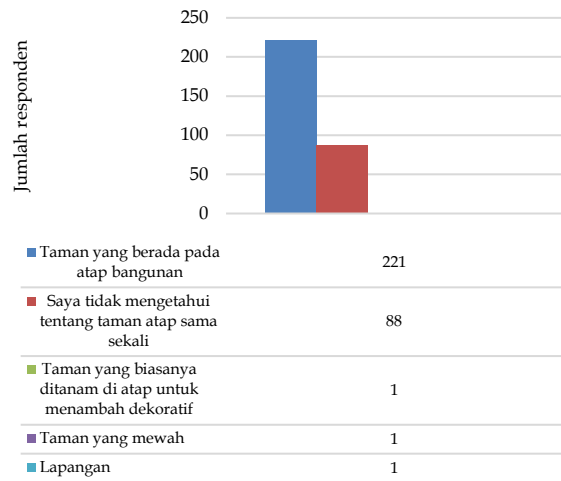
Gambar 3. Diagram (a) responden SMP Pesat (b) Jenis kelamin responden



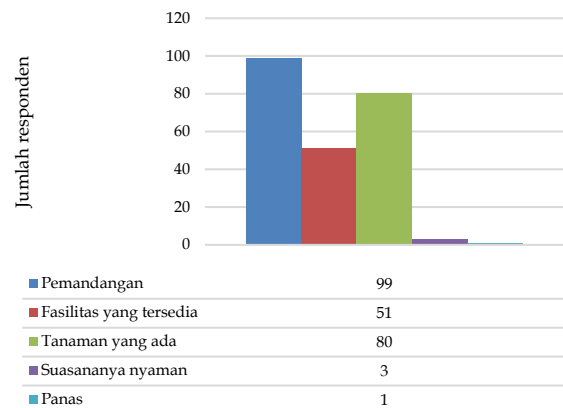
Gambar 4. Diagram (a) responden ketika mendengar tentang taman atap (b) Responden yang pernah mengunjungi taman atap

**Sosial**

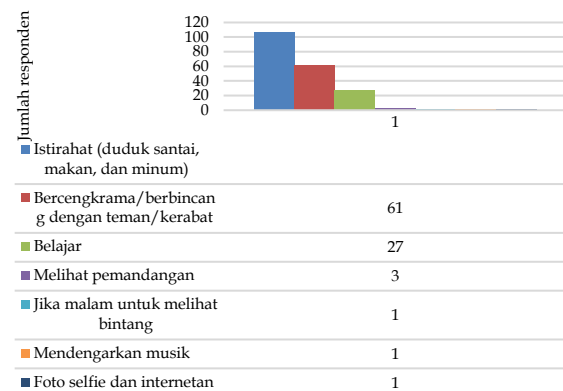
Data sosial diperoleh dengan mewawancarai wakil kepala sekolah bidang kesiswaan SMP Pesat secara langsung. Selain itu, dilakukan juga pembuatan kuesioner tahap 1 melalui Google Form dengan target responden yaitu beberapa murid kelas 7, murid kelas 8, dan murid kelas 9 serta beberapa staf dan guru sekolah di SMP Pesat.



Gambar 5. Grafik definisi taman atap berdasarkan responden

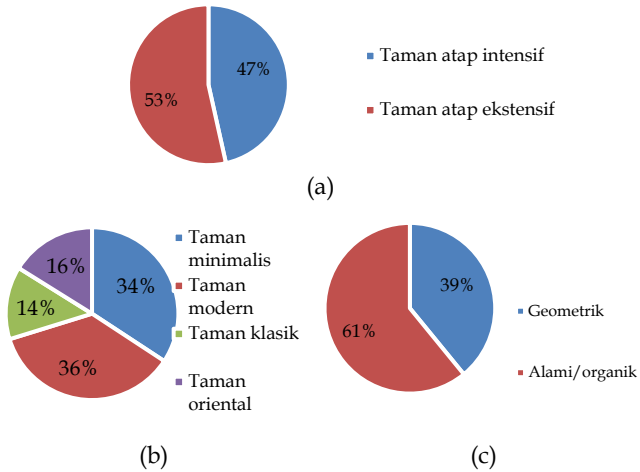


Gambar 6. Grafik hal yang diingat responden ketika mengunjungi taman atap pada lokasi yang berbeda



Gambar 7. Grafik aktivitas yang dilakukan responden di taman atap

Sebanyak 220 orang mengartikan taman atap sebagai taman yang berada pada atap bangunan dan 88 orang tidak mengetahui tentang taman atap. Hal yang paling diingat dari kunjungan ke taman atap yaitu pemandangan, serta aktivitas beristirahat seperti duduk santai, makan, dan minum. Berdasarkan hasil kuesioner maka perlu adanya ruang untuk bersantai dimana pengguna dapat sekaligus melihat pemandangan di sekitar. Ruang tersebut juga dapat dimanfaatkan sebagai area belajar mengajar tergantung mata pelajaran yang ada di SMP Pesat. Kegiatan tersebut perlu diakomodasi fasilitas seperti tempat duduk, meja, papan tulis dan naungan agar pengguna nyaman. Penambahan beberapa vegetasi disekitar area tersebut juga diperlukan untuk menambah kesan segar.



Gambar 8. Diagram (a) definisi taman atap berdasarkan responden (b) tema taman atap sesuai minat responden (c) bentuk atau pola taman atap sesuai minat

Kategori taman atap yang paling diminati responden yaitu taman atap ekstensif dengan persentase 53% (Gambar 8a) dengan tema taman modern dengan persentase 36% dan taman minimalis dengan persentase 34% (Gambar 8b). Pola alami/organik dipilih dengan persentase 61% (Gambar 8c). Oleh karena itu, pemilihan jenis tanaman diutamakan tanaman kecil dan mudah dalam perawatannya seperti rumput, *groundcover*, semak kecil, atau tanaman rambat. Pemilihan jenis tanaman perlu disesuaikan terhadap kondisi ekologi dan iklim yang ekstrim (Pramonoputri 2019; Anwar dan Kaswanto 2021). Selain itu, penggunaan media tanam lebih baik terdiri dari campuran organik dan anorganik karena memiliki beban yang lebih ringan dan zat hara yang lebih beragam (Putra 2016). Kedua tema ini dapat dipadukan pada penerapan desain. Penggunaan warna yang tenang dengan bentuk *curvilinear* dapat dipilih untuk memberikan kesan santai (Handiansyah 2021). Bentuk desain *hardscape* dibuat sederhana sehingga dapat menimbulkan kesan minimalis. Penerapannya pola organik lebih diutamakan dengan menyesuaikan keadaan tapak.

**Konsep**

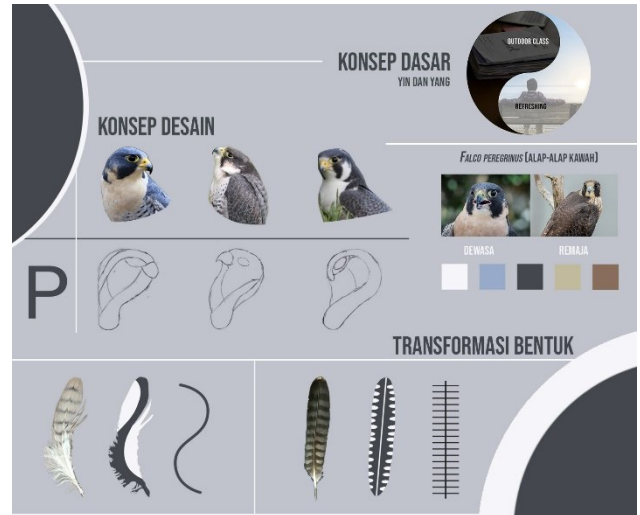
**Konsep Dasar**

Gedung 3 Sekolah Pesat yang memiliki *rooftop* dapat dimanfaatkan untuk berbagai aktivitas. Adapun konsep dasar yang dapat diterapkan pada perancangan taman atap Gedung 3 Sekolah Pesat yaitu “*Yin dan Yang*” atau “*keseimbangan*” dimana penggunaan taman atap kedepannya dapat digunakan sebagai area *outdoor class* dan area *refreshing*. Hal ini berdasarkan hasil wawancara, dimana pada saat Covid-19 beberapa guru menggunakan tempat ini untuk mengajar melalui daring dan kedepannya jika keadaan sudah normal diharapkan dapat dimanfaatkan bersama. Konsep *outdoor class* ini diterapkan untuk memaksimalkan fungsi dari bangunan sekolah itu sendiri sebagai area belajar mengajar. Namun, pada satu sisi taman atap ini juga dapat digunakan sebagai area untuk beristirahat setelah kegiatan belajar mengajar. Oleh karena itu, perlu adanya keseimbangan antara proses belajar mengajar dan *refreshing* sehingga pengguna nyaman beraktivitas pada taman atap tersebut.

**Konsep Desain**

Konsep desain taman atap diadopsi dari bentuk burung *Falco peregrinus* atau Alap-alap kawah. *Falco peregrinus* sendiri merupakan binatang tercepat di dunia dimana hal ini memiliki kesamaan makna dengan kata pesat pada Sekolah Pesat yang diharapkan murid dapat berkembang dan fokus mencapai tujuannya dengan pesat. Bentuk yang diambil

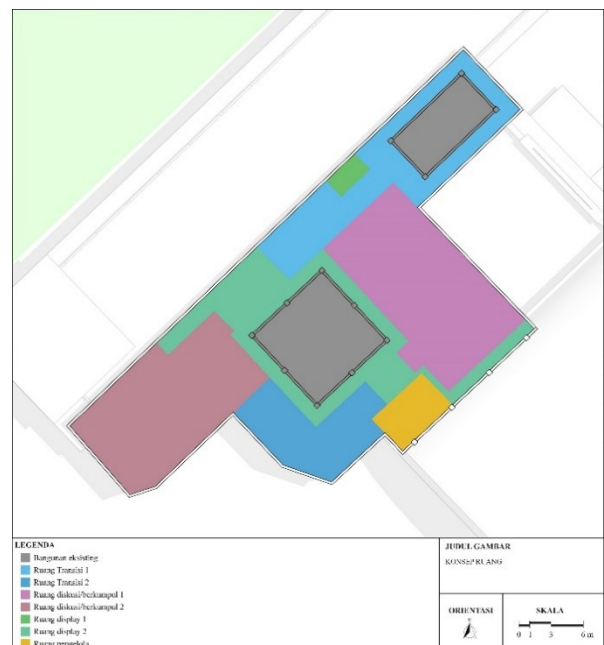
berupa bagian kepala dari *Falco peregrinus* dimana bentuk itu disederhanakan dan dibentuk menjadi huruf “P” sebagai huruf pertama dari kata “pesat”. Kedua konsep itu diterapkan sebagai pola dasar pembagian ruang dari taman atap sekaligus sebagai sirkulasi pada tapak. Sementara, untuk bentuk elemen penunjang akan menyesuaikan dengan pola pada bulu *Falco peregrinus* dan dibuat sederhana namun terlihat modern untuk menyesuaikan dengan tema yang paling diminati berdasarkan hasil kuesioner.



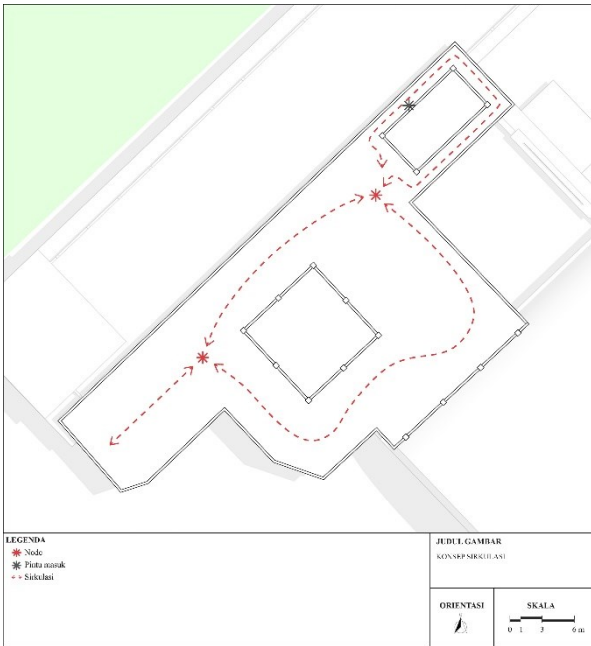
Gambar 9. Konsep dasar dan konsep desain

**Konsep Pengembangan**

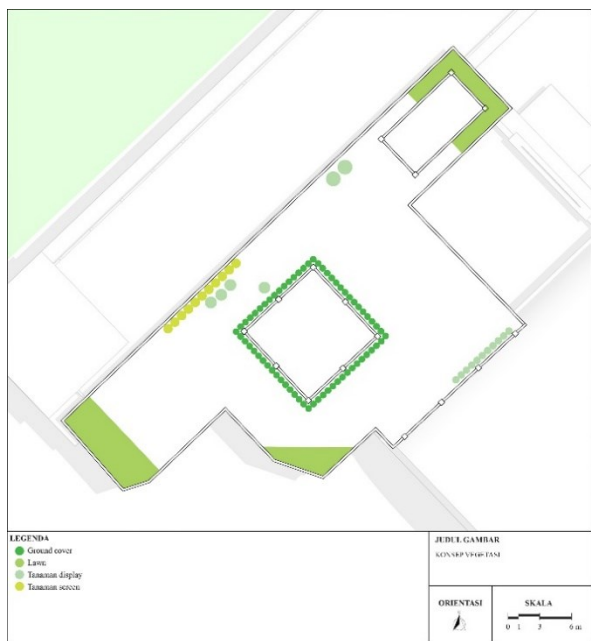
Konsep pengembangan terdiri dari konsep ruang dan fasilitas (Gambar 10), konsep sirkulasi (Gambar 11), dan konsep vegetasi (Gambar 12). Konsep ruang dibagi menjadi beberapa ruang seperti ruang transisi, ruang diskusi/berkumpul, ruang *display*, dan ruang pengelola. Konsep sirkulasi pada tapak menggunakan pola organik hal ini berdasarkan hasil suara terbanyak dari kuesioner dan menyesuaikan dengan konsep desain. Konsep vegetasi dipilih berdasarkan fungsi dari tanaman. Tanaman yang dipilih harus mampu beradaptasi dan memiliki bobot yang ringan (Putra 2016). Tanaman akan dibagi menjadi tanaman *display*, *screen*, *ground cover* dan *lawn*.



Gambar 10. Konsep Ruang



Gambar 11. Konsep sirkulasi



Gambar 12. Konsep vegetasi

**Block plan**

Block plan (Gambar 13) diperoleh dengan menggabungkan konsep ruang dan fasilitas, konsep sirkulasi, dan konsep vegetasi. Block plan digunakan sebagai acuan dalam pembuatan preliminary design.

**Preliminary design**

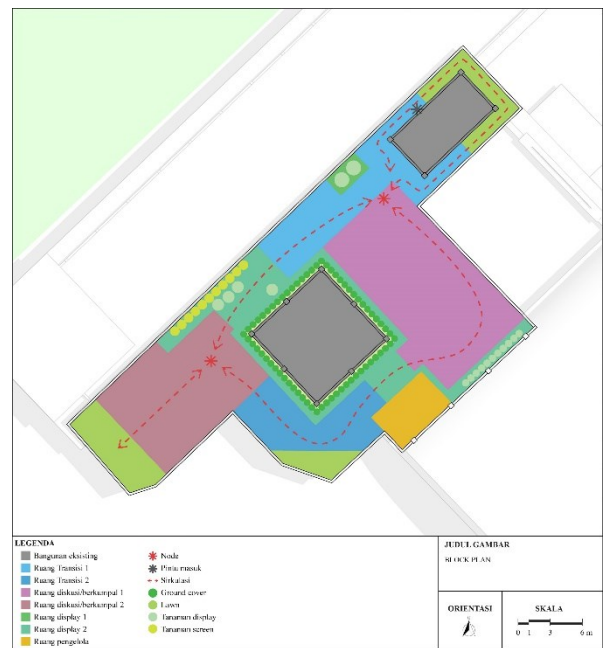
Setelah dilakukan pembuatan block plan maka data diolah dan menghasilkan tiga buah preliminary design. Preliminary design 1 (Gambar 15) lebih mengutamakan pada penggunaan perkerasan dengan memaksimalkan area sehingga dapat menampung lebih banyak pengguna. Preliminary design 2 (Gambar 16) lebih mengutamakan pada sisi kenyamanan dengan memperbanyak tanaman yang disebar. Preliminary design 3 (Gambar 17) merupakan gabungan dari beberapa konsep preliminary design 1 dan preliminary design 2, desain ini menyeimbangkan area untuk beristirahat dan area hijau. Tapak dibagi menjadi lima segmen (Gambar 14) untuk memudahkan dalam memberikan ilustrasi pada kuesioner tahap 2.

Setelah dilakukan pembuatan ketiga preliminary design maka dilakukan kembali pengambilan data melalui kuesioner tahap 2 dengan target yang sama yaitu masyarakat SMP Pesat untuk menentukan desain mana yang akan dikembangkan menjadi site plan. Berdasarkan hasil dari kuesioner diperoleh 280 responden dengan jumlah laki-laki sebanyak 135 orang dan perempuan 145 orang. Pada saat pengambilan data terdapat kendala pada responden kelas 9 dikarenakan sedang persiapan untuk kelulusan sehingga data tidak diperoleh. Oleh karena itu, pengambilan data diperbanyak pada responden kelas 7 dan kelas 8. Pertanyaan pertama dilakukan dengan memberikan gambar peta preliminary design seperti yang tertera pada Gambar 15, Gambar 16 dan Gambar 17.

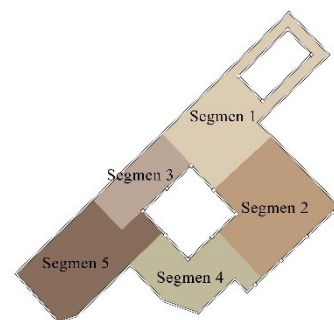
Berdasarkan hasil pertanyaan 1 (Gambar 19a) sebanyak 176 responden memilih preliminary design 3 dengan rata-rata alasan menjawab lebih keren, bagus, atau estetik. Pada pertanyaan 2 (Gambar 19b) diberikan ilustrasi pada segmen 1, sebanyak 151 responden lebih memilih preliminary design 1 karena terkesan lebih nyaman, teduh, adem, atau sejuk.

Pada pertanyaan 3 (Gambar 20a) diberikan ilustrasi pada segmen 2, sebanyak 144 responden lebih memilih preliminary design 2 dengan alasan suasana yang lebih nyaman, teduh, adem, atau sejuk karena adanya tanaman rambat. Pada pertanyaan 4 (Gambar 20b) dengan ilustrasi segmen 3, menunjukkan hasil preliminary design 1 dan preliminary design 3 memiliki jumlah yang hampir sama dengan perbedaan 4 orang.

Pada pertanyaan 5 (Gambar 21a) dengan ilustrasi segmen 4, preliminary design 1 jauh lebih unggul dengan total



Gambar 13. Block Plan



Gambar 14. Pembagian segmen pada tapak untuk kuesioner tahap kedua





Gambar 15. Preliminary design 1



Gambar 16. Preliminary design 2



Gambar 17. Preliminary design 3

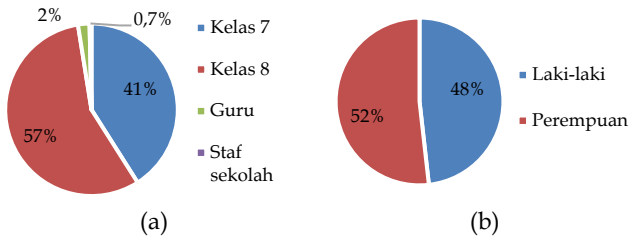
responden yang memilih 204 orang. Responden cenderung memberikan alasan desain lebih bagus dengan adanya naungan pergola. Selanjutnya, pada pertanyaan 6 (Gambar 21b) dengan ilustrasi Segmen 5, responden lebih banyak memilih *preliminary design 3* karena terlihat lebih keren, bagus, estetik, atau elegan.

Berdasarkan hasil dari pertanyaan 7 (Gambar 22) lantai motif kayu merupakan yang paling diminati dengan batu alam di urutan kedua. Kedua jenis perkerasan tersebut lebih didominasi pada *preliminary design 1* dan *preliminary design 3*. Pada pertanyaan 8 (Gambar 23a) didapatkan bahwa responden lebih menyukai desain yang menggunakan pergola dengan tanaman rambat dengan alasan lebih adem dan asri. Namun, penggunaan pergola dengan tanaman rambat hanya terdapat pada *preliminary design 2*. Selanjutnya, pada pertanyaan 9 (Gambar 23b) responden cenderung lebih menyukai tanaman yang tidak dipangkas atau tidak dibentuk dengan alasan lebih terlihat alami dan natural.

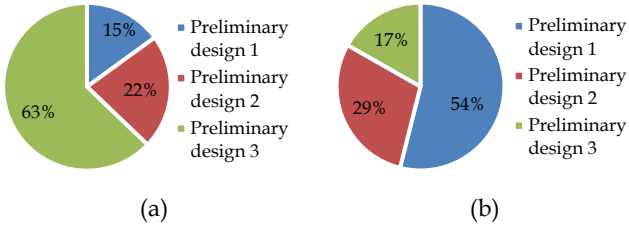
Pada pertanyaan 10 (Gambar 24a) sebanyak 182 responden lebih menyukai tanaman hias berbunga karena terlihat lebih keren, bagus, estetik, atau cantik serta dapat

memberikan warna pada tapak. Keragaman tanaman hias membantu desain lanskap perkotaan (Filqisthi dan Kaswanto 2017; Ramirez-Lovering *et al.* 2019). Pada pertanyaan 11 (Gambar 24b) sebanyak 150 responden lebih memilih tempat duduk portabel dengan alasan bisa dipindahkan atau disesuaikan sesuai keadaan.

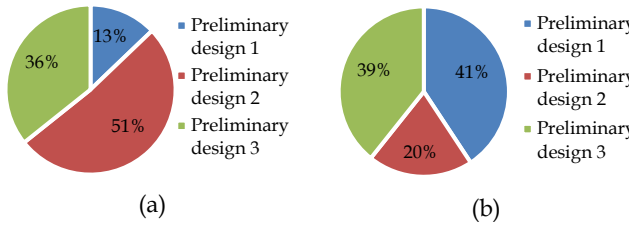
Hasil pertanyaan 12 (Gambar 25a) menunjukkan bahwa 185 responden lebih menyukai taman dengan komposisi yang seimbang antara *hardscape* dan *softscape*. Komposisi yang seimbang dan selaras akan meningkatkan preferensi (Afiyanita dan Kaswanto 2021; Rahmafritria dan Hindayani 2022) Pada pertanyaan terakhir (Gambar 25b) responden diberikan ilustrasi perspektif keseluruhan masing-masing tapak dan dihasilkan bahwa 185 orang memilih *preliminary design 3*. Hal ini mengalami peningkatan sebanyak 9 orang dari pertanyaan pertama yang hanya diberikan gambar masing-masing *preliminary design*. Oleh karena itu, berdasarkan hasil dari ke-13 pertanyaan diperoleh bahwa *preliminary design 3* lebih unggul sehingga dipilih untuk dikembangkan menjadi *site plan*.



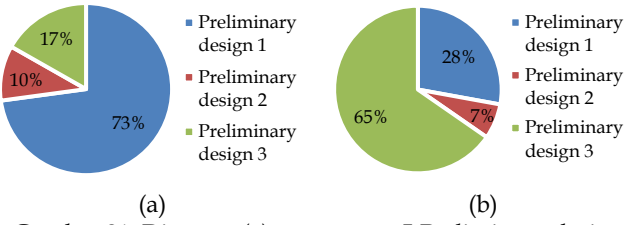
Gambar 18. Diagram (a) responden SMP Pesat (b) jenis kelamin responden



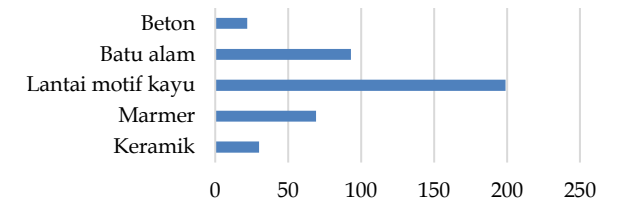
Gambar 19. Diagram (a) pertanyaan 1 preliminary design yang paling disukai berdasarkan dari segi bentuk dan estetika (b) pertanyaan 2 preliminary design yang paling disukai pada segmen 1



Gambar 20. Diagram (a) pertanyaan 3 Preliminary design yang paling disukai pada segmen 2 (b) pertanyaan 4 preliminary design yang paling disukai pada segmen 3



Gambar 21. Diagram (a) pertanyaan 5 Preliminary design yang paling disukai pada segmen 4 (b) pertanyaan 6 preliminary design yang paling disukai pada segmen 5



Gambar 22. Pertanyaan 7 material perkerasan (lantai) yang paling disukai

Site Plan

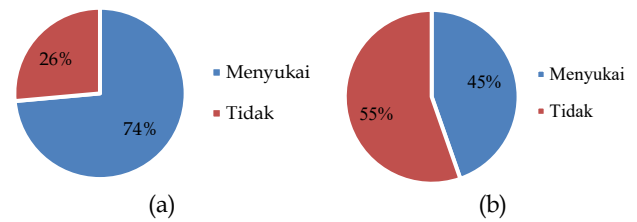
Site plan (Gambar 26) merupakan pengembangan dari konsep ruang dan fasilitas, konsep sirkulasi, dan konsep vegetasi dengan acuan pada block plan. Desain taman yang dibuat organik akan memberikan kesan dan pemandangan yang berbeda pada setiap sisinya sehingga dapat memecah kesan monoton. Lokasi tapak yang memiliki borrowing view hampir pada setiap sisinya memberikan nilai lebih sehingga

dapat dimanfaatkan pada saat pembuatan desain. Pengguna dapat bersantai dengan melihat pemandangan terutama yang berada pada sisi selatan tapak. Fasilitas penunjang seperti tempat untuk cuci tangan disediakan di dekat pintu masuk dan bagian timur tapak. Pembuatan tiga zona untuk berdiskusi atau sekedar duduk santai dimaksudkan untuk memberikan keleluasaan kepada pengguna sehingga tidak berkumpul pada satu titik. Tanaman yang digunakan lebih dominan tanaman tidak berbunga. Sehingga memainkan gradasi warna hijau dan bentuk daun. Penggunaan tanaman bunga pada tapak difungsikan sebagai focal point seperti pada bagian tengah atau sisi bangunan masjid, lapisan atas ditanam Cuphea hyssopifolia dan lapisan bawah ditanam Dracaena trifasciata yang ditata dengan menggunakan batu sebagai focal point dan display pada tapak.

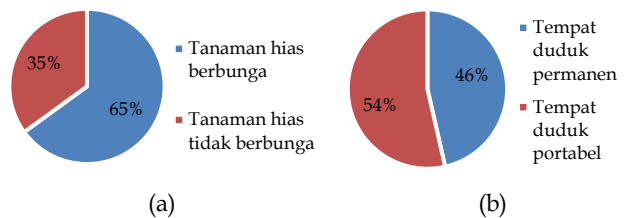
Tampak Potongan

Desain taman atap kemudian dipotong menjadi 3 dengan potongan A-A', potongan B-B', dan potongan C-C' (Gambar 28) serta potongan detail pada Gambar 27. Pada penerapan desain taman atap tidak terlalu adanya perbedaan elevasi pada bagian sirkulasi tapak. Namun, terdapat penambahan tinggi sekitar 30-65 cm untuk lapisan taman atap dan media tanam.

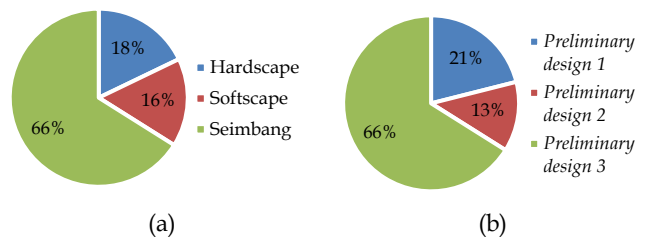
Hasil dari site plan kemudian divisualisasikan menjadi perspektif keseluruhan dan beberapa spot berdasarkan pembagian segmen sebelumnya dengan menggunakan aplikasi 3D Blender dan Unreal Engine 5. Pengaturan cahaya pada saat dilakukan visualisasi yaitu pada tanggal 1 Maret jam 8 pagi. Visualisasi pada site plan mengalami sedikit perubahan dari preliminary design 3 hal ini berdasarkan hasil kuesioner tahap 2.



Gambar 23. Diagram (a) pertanyaan 8 minat responden terhadap pergola dengan tanaman rambat (b) pertanyaan 9 minat responden terhadap tanaman yang dipangkas dengan bentuk

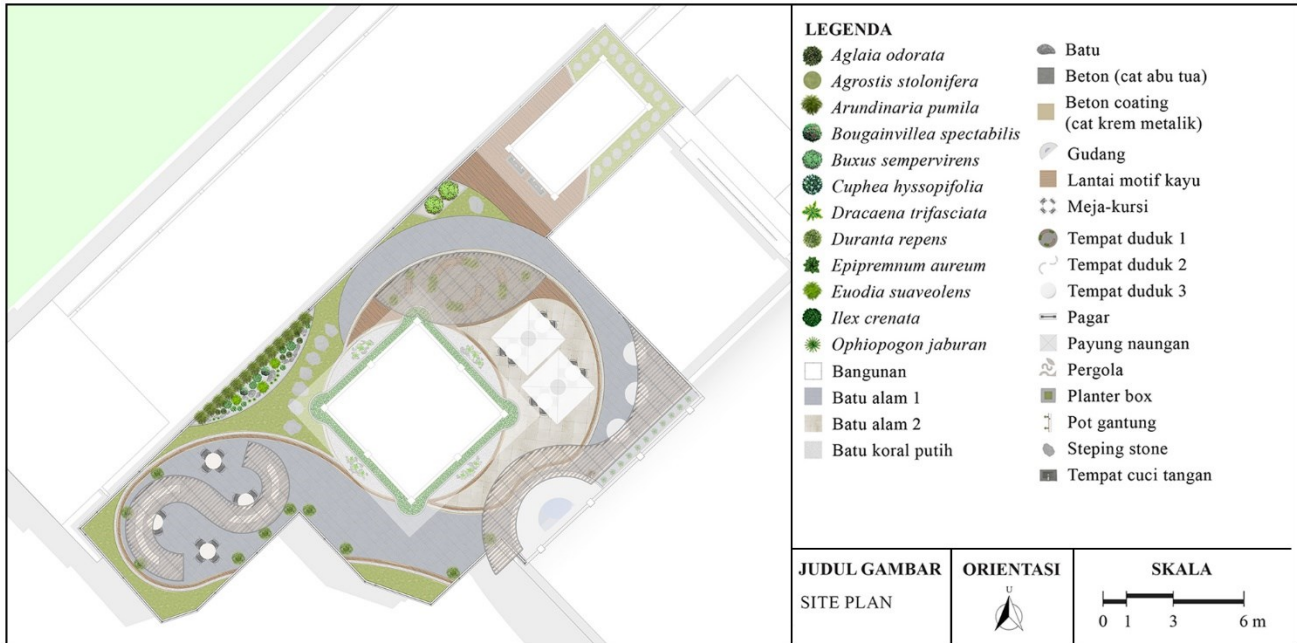


Gambar 24. Diagram (a) pertanyaan 10 Jenis tanaman yang lebih disukai responden (b) pertanyaan 11 jenis tempat duduk yang disukai responden



Gambar 25. Diagram (a) pertanyaan 12 elemen taman yang lebih disukai mendominasi (b) pertanyaan 13 preliminary design yang paling disukai secara keseluruhan





Gambar 26. Site plan

**Daya dukung**

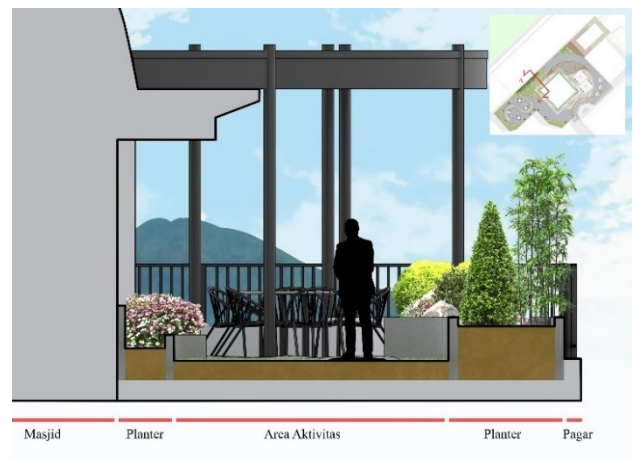
Penggunaan material pada desain taman atap dipilih dengan menyesuaikan kriteria pada taman atap ekstensif. Oleh karena itu, pemilihan material yang digunakan harus memiliki kriteria ringan dan kuat. Selain itu, pemilihan material yang digunakan didominasi dari material alami untuk memberikan kesan yang seimbang antara buatan dan alami. Menurut Lestari (2008) taman atap ekstensif memiliki beban sekitar 60-150 kg/m<sup>2</sup>. Terbatasnya data dari gambar bestek pada penelitian ini maka tidak dilakukan analisis beban tambahan pada bangunan. Berdasarkan hasil perhitungan total beban mati diperoleh sebesar 42.940,10 kg. Beban total kemudian dibagi dengan luas total tapak dengan mengasumsikan bahwa beban terbagi merata sehingga diperoleh 79,82 kg/m<sup>2</sup>. Pada perhitungan belum termasuk dengan beban hidup baik dari manusia maupun air hujan. Beban minimum pada manusia yaitu 100 kg dan air hujan yang diasumsikan terbagi rata pada bidang datar sebesar 40 kg/m<sup>2</sup> (Putra 2016; Kadek *et al.* 2021). Selanjutnya, dengan menjumlahkan beban mati dan beban hidup dapat dilakukan perhitungan beban total pada tapak dan diperoleh nilai sebesar 119,82 kg/m<sup>2</sup>. Tapak didesain dengan kapasitas maksimal 50 orang dengan penggunaannya harus berada di bawah pengawasan guru atau pembimbing. Hal ini disesuaikan dengan peraturan yang berlaku pada SMP Pesat. Sementara itu, beban dari media tanam yang digunakan merupakan campuran dari bahan pasir, cocopeat, vermikompos, vermikulit, perlite dengan perbandingan 1:2:2:0.25:0.25 (Saha 2018).

**SIMPULAN DAN SARAN**

**Simpulan**

Permukaan atap yang datar pada Gedung 3 SMP-SMA-SMK Informatika Pesat memiliki potensi untuk dikembangkan menjadi taman atap. Terdapat beberapa potensi yang dapat dikembangkan terutama pada segi visual. Salah satunya pada selatan tapak terdapat *borrowing view* utama yaitu dua gunung di Bogor, Gunung Salak dan Gunung Pangrango. Hal ini menjadi *good view* dan nilai tambah pada tapak. Kendala pada tapak yang berada pada atap bangunan menyebabkan atap terdampak langsung baik dari cahaya matahari, angin, maupun hujan. Selain itu,

keadaan tapak yang dibiarkan tanpa adanya penataan menyebabkan beberapa spot menjadi *bad view* pada tapak. Kendala tersebut dapat diatasi dengan merekayasa dan mendesain lanskap pada tapak. Hal ini dilakukan untuk memberikan kenyamanan pengguna ketika beraktivitas baik beristirahat atau belajar.

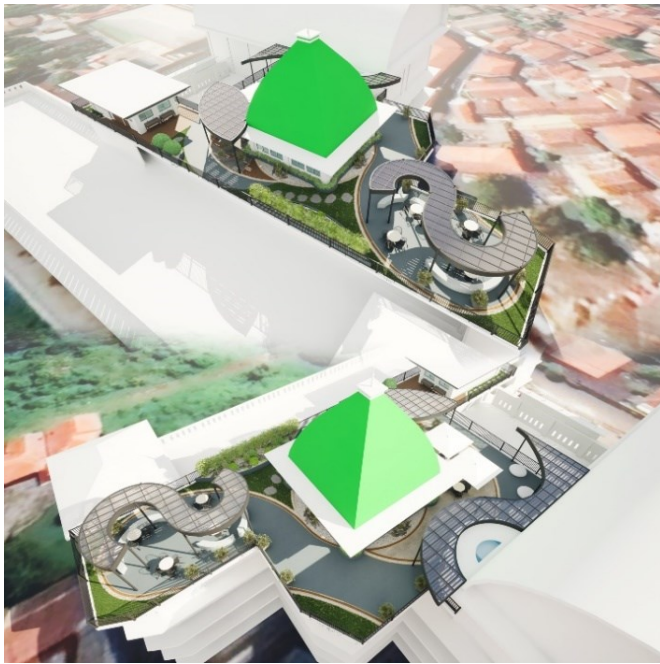


Gambar 27. Potongan detail bagian barat tapak



Gambar 28. Potongan tapak





Gambar 29. Perspektif keseluruhan



Gambar 33. Ilustrasi 3D Segmen 4



Gambar 34. Ilustrasi 3D Segmen 5



Gambar 30. Ilustrasi 3D Segmen 1



Gambar 31. Ilustrasi 3D Segmen 2



Gambar 32. Ilustrasi 3D Segmen 3

Tipe taman atap yang diterapkan pada *rooftop* Gedung 3 SMP Pesat merupakan taman atap ekstensif. Penggunaan material *hardscape* dipilih yang ringan dan kuat, sedangkan elemen *softscape* seperti tanaman diutamakan tanaman kecil dan mudah dalam perawatannya seperti rumput, *groundcover*, semak kecil, atau tanaman rambat. Sementara itu, konsep dasar yang diterapkan yaitu “*Yin dan Yang*” dimana adanya hubungan keseimbangan antara dua hal yang berlawanan. konsep desain diambil dari bentuk burung *Falco peregrinus* (alap-alap kawah) yang merupakan hewan tercepat di dunia dimana hal ini memiliki kesamaan makna dengan kata pesat pada Sekolah Pesat. Konsep desain dibagi menjadi empat ruang utama yaitu ruang transisi, ruang diskusi/berkumpul, ruang *display*, dan ruang pengelola.

Desain taman yang diterapkan merupakan pengembangan dari *preliminary design* 3. Hal ini berdasarkan hasil dari konsep dan aspek sosial dimana responden cenderung lebih menyukai taman atap yang seimbang baik dari jenis elemen *hardscape* dan *softscape* maupun aktivitas yang dapat dilakukan pada tapak. Taman atap didesain dengan menggunakan elemen *hardscape* alami dengan kombinasi elemen *softscape* berupa tanaman untuk memberikan kesan seimbang antara buatan manusia (*manmade*) dan alam serta penambahan beberapa fasilitas penunjang sehingga pengguna dapat melakukan aktivitas baik belajar mengajar maupun istirahat.

**Saran**

Hasil desain taman atap pada bangunan SMP-SMA-SMK Informatika Pesat diharapkan dapat menjadi rekomendasi baik untuk pihak Yayasan Pesat Birrul Walidain maupun pihak SMP Pesat. Selain itu, desain ini juga diharapkan dapat menjadi referensi untuk sekolah lainnya yang tertarik pada taman atap. Ketersediaan gambar bestek sangat bermanfaat sebagai dasar untuk melakukan analisis perhitungan konstruksi.

**DAFTAR PUSTAKA**

[BMKG] Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika. 2021. Data Iklim 2021 Stasiun BMKG. dataonline.bmkg.go.id.

- [diakses 3 Mar 2022].
- [ICC] International Code Council. 2021. International Building Code (IBC) Section 1015.3. codes.iccsafe.org [2 Jul 2022].
- Adjam RMO, Renoat E. 2017. Vegetasi Lanskap Jalan sebagai Pereduksi Aliran Angin di Kota Kupang. *Jurnal Lanskap Indonesia* 9(1):63-72. <https://doi.org/10.29244/jli.v9i1.15372>
- Afiyanita H, Kaswanto RL. 2021. Evaluation of Urban Landscape Visual Quality based on Social Media Trends in Bogor City. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 622(1): 012022. IOP Publishing. <http://doi.org/10.1088/1755-1315/622/1/012022>
- Anwar S, Kaswanto RL. 2021. Analysis of Ecological and Visual Quality Impact on Urban Community Activities in Bogor City. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 879(1): 012035. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/879/1/012035>
- Arifin HS, Nurhayati HSA, Kaswanto RL, Budiadi, Irwan SNR, Faisal B, Dahlan MZ, Nadhiroh SR, Wahyuni TS, Ali MS. 2021. Landscape Management Strategy of Pekarangan to Increase Community Immunity during the Covid-19 Pandemic in Java Indonesia–Inductive Research. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 918(1): 012029. IOP Publishing.
- Booth NK. 1983. Basic Elements of Landscape Architectural Design. New York (US): Waveland Press, Inc.
- Budiman A, Sulistyantara B, Zain AF. 2014. Deteksi Perubahan Ruang Terbuka Hijau pada 5 Kota Besar di Pulau Jawa (Studi Kasus: DKI Jakarta, Kota Bandung, Kota Semarang, Kota Jogjakarta, dan Kota Surabaya). *Jurnal Lanskap Indonesia* 6(1): 7-15. <https://doi.org/10.29244/jli.2014.6.1.7-15>
- Desta A, Kaswanto RL. 2021. Analysis of Vegetation Biodiversity and Urban Park Connectivity as Landscape Services Provider in Bogor City. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 694(1): 012020. IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/694/1/012020>
- Effendy S, Bey A, Zain AFM, Santosa I. 2006. Peranan Ruang Terbuka Hijau dalam Mengendalikan Suhu Udara dan Urban Heat Island Wilayah Jabotabek. *J Agrom Indones.* 20(1): 23-33.
- Faisal B, Dahlan MZ, Arifin HS, Nurhayati, Kaswanto RL, Nadhiroh SR, Wahyuni TS, Irawan SNR. 2022. Landscape Character Assessment of Pekarangan towards Healthy and Productive Urban Village in Bandung City, Indonesia. *International Conference on Sustainable Environment, Agriculture and Tourism (ICOSEAT 2022)*: 778-784. Atlantis Press. [https://doi.org/10.2991/978-94-6463-086-2\\_102](https://doi.org/10.2991/978-94-6463-086-2_102)
- Femy, Budiarti T, Nasrullah N. 2017. Pengaruh Tata Hijau terhadap Suhu dan Kelembaban Relatif Udara pada Balai Besar Pengembangan Mekanisasi Pertanian, Serpong. *Jurnal Lanskap Indonesia* 6(2): 21-28.
- Fitriana AF, Kaswanto RL, Nurhayati HSA. 2023. Strategi Manajemen Lanskap yang Dikembangkan pada Taman Kota di Kota Purwokerto. *SPACE* 10(2). <https://doi.org/10.24843/IRS.2023.v10.i02.p09>
- Filqisthi TA, Kaswanto RL. 2017. Carbon Stock and Plants Biodiversity of Pekarangan in Cisdane Watershed West Java. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 54(1): 012024. IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/54/1/012024>
- Handiansyah R. 2021. Desain Roof Top Garden berbasis Landscape Engineering Adjustment di Apartemen the Suites @Metro Kota Bandung [skripsi]. Institut Pertanian Bogor. <https://doi.org/10.29244/j.agromet.20.1.23-33>
- Kadek W, Dharmadiatmika IMA, Krisnandika AAK. 2021. Model Desain Taman Toga Desa Bukian, Kecamatan Payangan, Kabupaten Gianyar. *Jurnal Lanskap Indonesia* 13(2): 45-53. <https://doi.org/10.29244/jli.v13i2.34321>
- Lestari G. 2008. Taman Atap. Jakarta: PT Prima Infosarana Media.
- Maulipaksi D. 2021. Kemendikbud Siapkan Kebijakan Pembelajaran Tatap Muka Terbatas.[diakses 1 Jul 2022]. <https://www.kemdikbud.go.id/main/blog/2021/03/kemdikbud-siapkan-kebijakan-pembelajaran-tatap-muka-terbatas>.
- Nurohimah I, Fatimah IS. 2022. Persepsi dan Preferensi Masyarakat terhadap Tingkat Kenyamanan Taman Merdeka Metro sebagai Ruang Interaksi Sosial di Masa Pandemi Covid-19. *Jurnal Lanskap Indonesia* 14(1): 8-15. <https://doi.org/10.29244/jli.v14i1.37680>
- Pramonoputri AD. 2019. Desain Taman Atap di Apartemen Bandung Central Park [skripsi]. Institut Pertanian Bogor.
- Pratiwi LY, Tohjiwa AD, Mildawani I. 2020. Produksi Ruang Terbuka Hijau Publik Taman Terpadu dan Respon Warga di Taman Kelurahan Pondok Jaya, Kota Depok. *Jurnal Lanskap Indonesia* 12(2): 63-72. <https://doi.org/10.29244/jli.v12i2.32521>
- Putra BU, Krisnandika AAK, Dharmadiatmika IMA. 2022. Pengaruh Kombinasi Kerapatan Kanopi Pohon terhadap Kenyamanan Termal di Lapangan Puputan Margarana, Denpasar. *Jurnal Lanskap Indonesia* 14(1): 16-21. <https://doi.org/10.29244/jli.v14i1.38646>
- Putra JL. 2016. Perancangan taman Atap pada Bangunan Tanoto Forestry Information Center (TFIC), Institut Pertanian Bogor [skripsi]. Institut Pertanian Bogor.
- Rahmafritria F, Hindayani P. 2022. Integrasi Analisis Preferensi Visual dan Bahaya Lanskap dalam Perencanaan Wisata di Taman Hutan Raya Ir. H. Djuanda, Bandung. *Jurnal Lanskap Indonesia* 14(2):60-68. <https://doi.org/10.29244/jli.v14i2.39833>
- Ramirez-Lovering D, Zamudio RM, Arifin HS, Kaswanto RL, Simarmata HA, Marthanty DR, Farrelly M, Fowdar H, Gunn A, Holden J, Panjaitan N, Payne E, Rogers B, Syaukat Y, Suharnoto Y, Suwarso R, Sondang I, Urlich C, Wright A, Yuliantoro D. 2019. Pulo Geulis Revitalisation 2045: Urban Design and Implementation Roadmap. Australian-Indonesia Centre (AIC). <https://australiaindonesiacentre.org/projects/case-study-pulo-geulis-transition-roadmap-to-wsc/>
- Saha S, Talukdar MC, Phookan DB. 2018. Effect of Growing Media and Depth on Rooftop Cultivation of Gerbera (*Gerbera jamesonii* Bolus) cv. Red Gem. *Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci.* 7(5): 189-193. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.705.024>
- Saudale V. 2021. Ruang Terbuka Hijau Baru 18%, Pemkot Bogor Minta Penyerahan PSU Dipercepat. Beritasatu.com. [diakses 1 Jul 2022]. <https://www.beritasatu.com/archive/764367/ruang-terbuka-hijau-baru-18-pemkot-bogor-minta-penyerahan-psu-dipercepat>
- Shafique M, Kim R, Rafiq M. 2018. Green Roof Benefits, Opportunities and Challenges - A Review. *Renew Sustain Energy Rev* 90:757-773. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.04.006>
- Sugiyono. 2017. Metode Penelitian Kuantitatif, kualitatif dan R&D. Bandung (ID): Alfabeta.
- Tang M, Zheng X. 2019. Experimental Study of the Thermal Performance of an Extensive Green Roof on Sunny Summer Days. *Appl Energy* 242:1010-1021. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.03.153>