SISTEM TEKNOLOGI BANGUNAN DAN MODE ADAPTIF DITENGAH PERUBAHAN LINGKUNGAN *POST* PANDEMI COVID-19

Basuki[1*], Prasasto Satwiko[2]

1.Program Studi Doktor Arsitektur Konsentrasi Arsitektur Digital Unika Soegijapranata, Semarang
2. Program Studi Magister Teknik Arsitektur Universitas Atmajaya Yogyakarta

*Correspondent Author; bas1arst@gmail.com
Tgl masuk naskah: 19-01-2022 • Tgl review I: 25-01-2022 • Tgl revisi: 17-02-2022• Tgl review II: 25-02-2022
Tgl siap terbit 15-03-2022.

DOI: DOI: 10.24167/joda.v1i2.4304

Abstrak: Studi ini bertujuan mengeksplorasi strategi adaptif teknologi bangunan yang berpotensial untuk diterapkan di era *new normal* pasca pendemi Covid-19. Penelitian dilakukan melalui pendekatan kualitatif untuk mengekplorasi relevansi dan praktek teknologi bangunan pintar dan modular. Analisis potensi dilakukan dengan pendekatan deskriptif berdasarkan data sekunder yang diperoleh dari: artikel yang diakses secara *online* dari media internet. Diskusi kelompok kecil dengan akademisi dan praktisi lokal digunakan untuk evaluasi relevansi dan praktek (tingkat kematangan teknologi). Analisis scenario digunakan untuk memproyeksi potensi strategi. Hasil penelitian menemukan bahwa persepsi manfaat akademisi dan praktisi lokal terhadap sistem teknologi bangunan pintar dan sistem modular untuk adaptasi bangunan di tengah dinamika lingkungan *post* pandemi *covid-19* adalah pada level sangat penting. Sistem bangunan pintar mempunyai relevansi karena potensi untuk kontrol kualitas lingkungan di tengah pandemi. Sistem modular mempunyai relevansi karena mudah untuk dikonfigurasikan ulang untuk adaptif terhadap kondisi lingkungan. Namun demikian ditinjau dari tingkat kematangan teknologi berada dalam kondisi *moderate* artinya kedua teknologi tersebut masih dalam tahap pengembangan. Adopsi sistem teknologi bangunan pintar dan sistem modular perlu disesuaikan dengan kondisi iklim lokal, sosial budaya dan risiko teknologi.

Kata Kunci: Bangunan Adaptif, Bangunan Pintar, Sistem Modular, Pandemi

Abstract: *This study aims to explore adaptive strategies for building technology that have the potential to be applied in the new normal era after the Covid-19 pandemic. The research was conducted through a qualitative approach to explore the relevance and practice of smart and modular building technologies. Potential analysis was carried out with a descriptive approach based on secondary data obtained from: articles accessed online from the internet media. Focus group discussions with academics and practitioners were used to evaluate relevance and practice (maturity level of technology). Scenario analysis is used to project potential strategies. The results of the study found that the perception of academics and practitioners towards smart building and modular technology systems for building dynamics adaptation is at a very important level. Smart building systems are relevant because of their potential for environmental quality control under pandemic. Modular systems are relevant because they can be easily reconfigured to adapt to environmental conditions. However, in terms of the maturity level of the technology, it is in moderate condition, meaning that both technologies are still in the development stage. The adoption of smart building technology systems and modular systems needs to be adapted to local climatic conditions, socio-cultural and technology risks .*

Keywords: *Adaptive Building, Smart Buildings, Modular Systems, Pandemic*

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License.

1. Pendahuluan

Penyebaran penyakit menular atau dikenal dengan pandemi sering memberikan ancaman kesehatan manusia. Pandemi Covid-19 bukanlah pandemi baru. Menurut data *World Health Organization* (Piret & Boivin, 2021), virus influensa di Spanyol pada Tahun 1984 telah berdampak pada kematian 64 juta orang. Pandemi kolera (1817-1824) berdampak lebih dari 1 juta jiwa meninggal. Pandemi tifus menyerang menjadi penyebab kematian 2–3 juta orang pengidapnya.

Arsitektur merupakan salah satu sarana untuk mengendalikan penyebaran penyakit menular. Pandemi sering mempengaruhi perubahan besar dalam cara-cara mengelola lingkungan melalui arsitektur (tata ruang-bangunan-kota) (Sharifi, & Khavarian-Garmsir, 2020: Megaheda & Ghoneimb, 2020: Al-Humairi, & Kamal, 2021). Menurut Megaheda & Ghoneimb (2020), wabah penyakit pes pada abad ke-14, mendorong perbaikan perkotaan melalui pengaturan kepadatan bangunan, mengembangkan fasilitas karantina, pembersihan kawasan kumuh, dan pengelolaan limbah. Pandemi kolera pada awal abad ke-18 mempengaruhi arsitektur agar setiap bangunan memiliki bukaan tinggi dan lebar untuk memasukkan cahaya matahari yang banyak dalam ruang. Pandemi kolera dan tifus pada awal abad ke-19 mempengaruhi arsitektur agar setiap hunian memiliki sistem sanitasi dan limbah yang sehat.

Pandemi covid-19 yang muncul seiring dengan perkembangan teknologi digital awal abad ke-21 memberikan kebutuhan untuk redefinisi ulang konsep bangunan yang aman dan sehat (Xu & Juan, 2021). Pandemi covid-19 berdampak pada utilisasi ruang-ruang dan bangunan sekolah, perkantoran, bangunan komersial seperti retil yang berkurang separuhnya atau lebih karena jarak sosial dan karantina wilayah (Megaheda & Ghoneimb, 2020). Fasilitas sekolah, pelayanan publik juga sering menganggur pada saat karantina wilayah. Pandemi global memerlukan strategi adaptif bangunan untuk merespon perubahan lingkungan yang semakin kompleks, dinamis dan tidak pasti.

Megaheda & Ghoneimb (2020) melalui studi literatur menemukan beberapa metode potensial terkait teknologi bangunan dan kontruksi untuk mengendalikan pandemi, seperti: konstruksi modular (*modular construction*), *adaptive reuse*, standar pepabrikasi (*prefabricating standardized*), struktur ringan dan adaptif (*lightweight and adaptable structures*), dan kecerdasan buatan (*artificial intelligence*). Perkembangan teknologi bangunan pintar (*smart building*) berpotensi sebagai salah satu cara untuk mengendalikan dampak pandemi. seperti dengan menerapkan teknologi *screening* pengguna, sensor untuk pemetaan ruang, kualitas udara, kontrol hyginitas ruang, jumlah pengguna optimum, dan pengaturan jalur sirkulasi yang aman. Sistem teknologi bangunan pintar tersebut terdiri dari komponen *hard* dan *soft* yang dapat di-*install*, di-*upgrade*, ditambah, di-*delete*, dikombinasikan dengan sistem modular (Wilkinson, Remøy, Langston, 2014; Kolarevic, & Parlac, 2015). Sistem teknologi bangunan modular berpotensi diadopsi agar bangunan mempunyai kapasitas dinamis (fleksibel) untuk merespon perubahan lingkungan. Artikel ini mengeksplorasi potensi sistem teknologi bangunan pintar dan sistem modular untuk mendukung kapasitas adaptasi bangunan di tengah pandemi. Studi ini memberikan bukti empiris kebutuhan pengembangan (relevansi) dan praktek bangunan yang adaptif dan dinamis (fleksibel) di tengah dinamika dan ketidakpastian lingkungan.

2. Tinjuan Pustaka

2.1 Kemampuan Adaptif Bangunan

Bangunan merupakan cara organisme untuk beradaptasi untuk hidup di tengah perubahan lingkungan (Bahar, & Syoufa, 2009). Bangunan adaptif adalah bangunan yang dirancang untuk beradaptasi dengan lingkungan (Wilkinson, Remøy, Langston, 2014; Douglas, 2006). Pengembangan bangunan adaptif adalah multi-disiplin, melibatkan berbagai bidang: arsitektur, ilmu komputer, ilmu sosial, perencanaan perkotaan dan seni (Preiser, Hardy, Wilhelm, 2017). Sistem adaptif adalah sistem yang dapat secara tepat memodifikasi perilakunya agar sesuai dengan perubahan lingkungan (Kolarevic, & Parlac, 2015; Feigh et al., 2012).

Desain arsitektur untuk adaptif terhadap perubahan lingkungan melalui beberapa strategi, yaitu (Schmidt & Austin, 2016): *available, reusable, flexible, versatile* dan *convertible*. Available yaitu bangunan mudah dan cepat untuk diproduksi untuk tujuan komersial serta memberikan kemudahan untuk dimodifikasi oleh pengguna. *Reusable* yaitu kemampuan bangunan untuk didaur ulang setelah bangunan sudah tidak dapat digunakan. *Flexible* yaitu peluang kemudahan penggunaan bentuk ruang fungsional yang diartikan oleh pengguna tentang ruang secara fisik. *Versatile* merupakan perubahan fisik ruang. *Convertible* merupakan perubahan fungsi ruang.

Bangunan beradaptasi dengan perubahan lingkungan dengan model statis dan dinamis. Model statis yaitu variabel waktu tidak banyak mempengaruhi perubahan model atau sistem dalam bangunan (Schmidt & Austin, 2016; Kolarevic, & Parlac, 2015; Suri, & Cabri, 2014). Model statis yaitu bangunan yang tidak banyak merubah sistem-sistem yang ada didalamnya untuk beradaptasi dengan perubahan lingkungan pada periode waktu yang ditentukan. Perubahan cuaca, suhu lingkungan, kelembaban, kebisingan ancaman keamanan lingkungan, tidak banyak merubahan sistem inti dari bangunan tersebut (Zarzycki et al., 2019). Cara statis direncanakan dengana asumsi variabel waktu tidak banyak mempengaruhi sistem-sistem yang berlaku dalam bangunan (Schmidt & Austin, 2016). Cara statis berdaptasi melalui perubahan lingkungan melalui suatu siklus (siklus perubahan fungsi, umur ekonomis, perubahan sosial dan perubahan lingkungan) (Wilkinson, Remøy, Langston, 2014; Douglas, 2006).

Kapasitas dinamis bangunan dalam beradaptasi dengan lingkungan diantaranya dijelaskan dalam Teori *complex adaptive system* (CAS) (Kolarevic, & Parlac, 2015). Teknologi struktur bangunan perlu mempunyai kemampuan secara aktif untuk menyesuaikan bentuk, warna atau karakter untuk yang responsive terhadap kondisi lingkungan di sekitar. Kemampuan dinamis tersebut menggambarkan hubungan arsitektural dengan ruang dan lingkungan sekitarnya (Attia et al., 2020: Di Salvo, 2020; Foged, & Pasold, 2019; Elkhateeb et al., 2018).

Model dinamis bangunan dalam beradaptasi dengan lingkungan yaitu konsep struktur dan sistem yang yang fleksibel dan mudah diubah fungsi, bentuk, fitur secara reversibel, dari waktu ke waktu sebagai respons terhadap perubahan persyaratan kinerja dan kondisi lingkungan (Di Salvo, 2020). Salah satu potensi sistem teknologi untuk adaptif terhadap dinamika lingkungan yaitu sistem teknologi bangunan pintar dan sistem modular. Bangunan pintar dalam model dinamis selalu menyesuaikan lingkungan baik secara otomatis atau melalui campur tangan manusia. Hal ini dapat terjadi pada banyak level dan sering melibatkan teknologi digital (sensor, aktuator, pengontrol, teknologi komunikasi) (Lehman, 2016: Bakker, 2020).

2.1 Bangunan Pintar

Bangunan fisik dalam pendekatan konsep bangunan pintar (*smart building*) tidak hanya terdiri dari komponen struktur dan dinding, namun seperti organisme hidup yang mempunyai sistem-sistem (system: struktur, pencahayaan, penghawaan, informasi, air bersih dan limbah) (Buckman, Mayfield, Beck, 2014). Tiap sistem dapat berdiri sendiri dan dapat saling berhubungan dengan sistem yang lain dalam bangunan bahkan dalam sistem yang lebih besar seperti jaringan kota pintar (*smart city*).

Menurut Bakker (2020), sistem informasi dalam bangunan pintar terdiri dari komponen input, proses dan output. Komponen input adalah seperti panca indera manusia (mata, telinga, kulit, hidung, lidah) untuk untuk mengenali, mencium, mendengar, melihat, meraba, dan merasakan sesuatu. Komponen input bangunan pintar bermanfaat untuk mengenali dan menangkap lingkungan, seperti: visual, suara, suhu udara, cahaya. Sistem informasi bangunan pintar diantaranya terhubung dewngan perangkat pribadi, kamera, *smartphone*, perangkat medis, *website*, dan sistem akuisisi data sejenis lainnya, termasuk jaringan sosial sebagai jaringan sensor manusia. Bangunan pintar memiliki sejumlah sensor yang memberikan data dan informasi yang dapat digunakan untuk pengaturan sistem yang lain (seperti: pencahayaan, penghawaan, keamanan, kenyamanan dan kesehatan). Konsep bangunan pintar tidak hanya merupakan integrasi data dan pengelolaan informasi, namun juga pengambilan keputusan. Sistem bangunan pintar terdiri dari komponen *hardware* dan software. Kedua komponen baik komponen baik *hardware* dan software dapat ditingkatkan kualitasnya atau disesuaikan kebutuhan dengan menambah, mengurangi, menghapus, mengganti atau mengkombinasikan.

2.2 Arsitektur Modular

Sejak tahun 1970-an, Isaacs (Wilkinson, Remøy, Langston, 2014) mengembangan ruang hidup modular, fleksibel, dan multi guna untuk digunakan dalam konteks pedesaan atau perkotaan. Arsitektur modular telah memberikan kesadaran publik terhadap pentingnya merancang bangunan untuk adaptif terhadap masalah lingkungan dengan tujuan memecahkan masalah lingkungan. Ide utama sistem modular adalah untuk mempermudah sistem bangunan dengan cepat mengkonfigurasi model dalam pengambilan keputusan dan pencapaian tujuan (Wilkinson, Remøy, Langston, 2014).

Sistem modular terdiri dari beberapa komponen bangunan, peralatan dan furnitur yang dikodifikasi, diklasifikasikan dan dikonfigurasikan secara modular (Zhu *et al.*, 2014; Wei *et al.*, 2021; Belausteguigoitia

et al., 2011; Doe, 2021; Di Pasquale et al., 2020). Berbagai komponen bangunan dikonfigurasikan secara modular melalui sistem *built-in*. Berbagai perlengkapan peralatan dan furniture dikonfigurasikan secara modular di tembok, atap, lantai rumah. *Built-In* digunakan saat memasang atau menggabungkan beberapa jenis perangkat. Beberapa jenis perangkat berinteraksi melalui portal yang dihubungkan bersama sebagai koneksi langsung antar modul atau dengan menggunakan unit koridor modular. Model ini sebagian besar merupakan penjabaran dari ide furnitur *pod*, di mana unit pod diperluas ke ukuran dan terbuat dari bahan sedemikian rupa sehingga dapat menahan elemen saja, berdiri di atas sistem fondasinya sendiri (Wei, Choi, Lei, 2021). Sistem bangunan *plug-in* merupakan salah satu sistem modular yang terdiri dari dua komponen: sistem inti (*core system*) dan modul *plug-in* (model tambahan). Sistem bangunan modular memungkinkan penambahan fitur tambahan sebagai ke sistem inti, menyediakan ekstensibilitas dan fleksibilitas. Pada kondisi tertentu, sistem ini dapat ditambah, dihapus, dan diubah dengan sedikit atau tidak berpengaruh pada sistem inti atau modul lainnya (Pisaric *et al*., 2017: Wallance, 2021).

3. Metode Penelitian

Penelitian dilakukan melalui pendekatan kualitatif. Pendekatan kualitatif digunakan untuk mengekplorasi strategi mode adaptif teknologi bangunan yang berpotensi untuk diterapkan di era new normal pasca pendemi. Penelitian dilakukan melalui tiga tahap. Tahap pertama dilakukan melalui eksplorasi praktek *adaptive* melalui *smart building* dan sistem teknologi modular baik sebelum pandemi maupun setelah pandemi. Data pada tahap pertama dikumpulkan dari sumberdata sekunder dari artikel baik yang diperoleh secara *online* melalui media internet. Sampel kasus diambil secara *purposive* pada kasus praktek sistem teknologi *smart building* dan *modular* yang potensial untuk diterapkan dalam kondisi pandemi. Sampel kasus diambil bukan untuk mewakili populasi, tetapi lebih bersifat untuk mengekplorasi adanya fenomena relevansi dab praktek yang potensial. Evaluasi potensi dilakukan melalui diskusi kelompok kecil (*Focus Group Discussion/FGD*) dengan praktisi perencana bangunan dan akademisi.

Tahap kedua merupakan analisis evaluasi kesenjangan (*gap analysis*) antara relevansi teknologi (tingkat kepentingan) dengan ketersediaan teknologi (tingkat kematangan) perkembangan teknologi. Pengukuran relevansi (tingkat kepentingan) teknologi melalui wawancara dengan peserta dalam FGD yang dikoding oleh peneliti dengan skala likert 1-5 (5=sangat penting, 4= penting, 3= *moderate*, 2= tidak penting, 1= sangat tidak penting). Pengukuran tingkat kematangan teknologi melalui skala likert 1-5 (5=sangat tinggi, 4= tinggi, 3= *moderate*, 2= rendah, 1= sangat rendah). Tahap ketiga merupakan analisis skenario untuk memprediksi potensi teknologi dan tipologi konfigurasi ruang untuk strategi adaptif untuk diterapkan dalam peristiwa pandemi serupa yang dapat terjadi di masa depan.

4. Pembahasan Hasil

4.1 Deskripsi Kasus

1. *Adaptive Reuse Wisma Atlet menjadi Rumah Sakit Darurat di Jakarta*

Bangunan wisma atlet merupakan bangunan yang pada awalnya di fungsikan untuk penginapan bagi para atlet untuk ajang Asian Games dan Asian Para Games. Pada bulan Maret 2020, pemerintah menetapkan kawasan Wisma Atlet sebagai tempat isolasi pasien dengan gejala ringan penyakit COVID-19. Kawasan wisma atlet berlokasi pusat kota dan pusat pemerintahan yaitu di Kemayoran, Jakarta Pusat, Jakarta, Indonesia. Kawasan ini dilengkapi dengan ruang terbuka hijau, *jogging track,* parkir yang luas, ruang *amphitheater* yang digunakan sebagai wahana hiburan bagi para atlet dan beberapa fasilitas lainnya. Bangunan wisma atlet terdiri atas 10 tower. Setiap tower terdiri dari 18 sampai dengan 32 lantai dengan 7.424 unit hunian. Perubahan fungsi penginapan wisma atlet menjadi rumah sakit tersebut lebih realistis dibandingkan dengan membangun rumah sakit yang baru.

Perubahan fungsi penginapan wisma atlet menjadi rumah sakit darurat COVID-19 dilakukan dengan menambahkan peralatan medis yang *portable*. Rumah sakit darurat ini mempunyai kapasitas 3.000 tempat tidur, menjadi salah satu yang terbesar di dunia dalam rangka penanganan pasien terkait pandemi koronavirus, dengan jumlah kamar 3 kali lebih besar dibandingkan Rumah Sakit Huoshenshan atau 2 kali lebih besar dibandingkan Rumah Sakit Leishenshan Wuhan, China. Selain wisma atlet, Pemprov DKI Jakarta juga telah menyiapkan beberapa tempat lain yang digunakan sebagai tempat isolasi pasien tanpa gejala, seperti: Pusat Pengkajian dan Pengembangan Islam Jakarta, Graha

Wisata Taman Mini Indonesia Indah, dan Graha Wisata Ragunan.

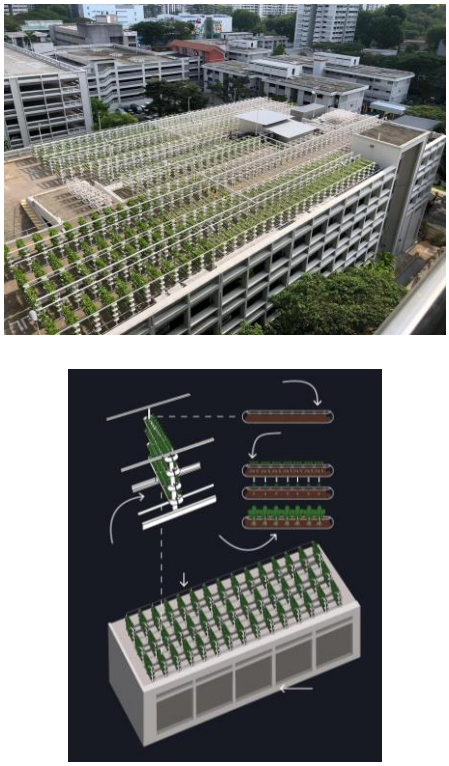


Gambar 1. *Adaptive Reuse* Wisma Atlet menjadi Rumah Sakit Darurat selama Pandemi

2. *Adaptive Reuse* Modular *Green Roof* untuk pasokan Pangan Lokal di Singapura

Pandemi COVID-19 mendorong pentingnya menjaga ketahanan pangan dan kemandirian pangan lokal di wilayah perkotaan. Hal ini penting terutama untuk kondisi karantina wilayah. Salah satu upaya pengembangan ketahanan pangan dan kemandirian pangan lokal di wilayah perkotaan berbasis komunitas adalah pengembangan *Courtesy Citiponics* di Singapura. *Courtesy Citiponics* merupakan pemanfaatan lahan parkir untuk adaptif dalam penyediaan ketahanan pangan masyarakat perkotaan di tengah Pandemi. Lingkungan perkotaan dengan kepadatan tinggi seperti Singapura, ruang alternatif seperti atap tempat parkir mobil berpotensi diadaptasi untuk pertanian perkotaan.

Di Singapura, ada struktur parkir mobil bertingkat yang tersedia di setiap lingkungan, dan di sekitar hampir setiap mal. Danielle Chan, salah satu pendiri *Citiponics* memutuskan untuk mengembangkan teknologi yang memungkinkan pertanian dengan aman, produktif, dan berada di sekitar area lingkungan di komunitas. *Citiponics* melibatkan masyarakat dengan pertanian perkotaan. Warga kota terhubung dengan sumber makanan sayuran segar, buah-buahan segar, ikan segar yang sehat, alami tanpa harus pergi ke supermarket untuk membeli sayuran. Citiponics mendorong warga kota di Singapura untuk berkontribusi pada proses produksi pangan dengan membantu pembibitan, transplantasi, dan panen. Citiponics mendorong warga untuk memanen produk sendiri. Sistem ini sebenarnya dimulai sebelum pandemi Covid-19 yaitu pada tahun 2018, yang memperoleh izin dari pemerintah setempat untuk memulai pertanian atap tempat parkir mobil pertama. Menggunakan sistem hidroponik modular, Citiponics dapat menanam hingga 25 jenis sayuran berdaun dan rempah-rempah tanpa pestisida. Lahan seluas 1.800 meter persegi (0,5 hektar) dapat menanam hingga 4 ton makanan per bulan menggunakan sistem Citiponics. Sistem ini mengkonsumsi sekitar 1% air yang digunakan dalam pertanian konvensional, dan 10% air yang digunakan dalam sistem hidroponik lainnya.



Gambar 2. *Adaptive Reuse* Atap Bangunan untuk Kemandirian Pangan Lokal Selama Pandemi

3. Adopsi *Smart Building* pada *Workcation* dan *Staycation Post* Pandemi di Bandung

Kegiatan bekerja sambil menjalani liburan *(workcation)* dan berlibur di penginapan saja dekat rumah *(staycation)* merupakan gaya hidup yang muncul *Post* Pandemi Covid-19. Perkembangan teknologi digital mempengaruhi yaitu bekerja, belajar, berlibur dapat dilakukan kapan saja dimana saja tidak terbatas ruang dan waktu. Pada sektor jasa, bekerja tidak selalu dikerjakan di kantor dan pusat kota, namun bekerja juga dapat dilakukan di sambil berlibur di pantai, di hutan, di tengah sawah pinggiran kota. Perkembangan teknologi digital seperti: *internet of thinks* (IoI), proyektor dinding

dengan teknologi *infrared, advanced robotic, augmented reality/virtual reality* (AR/VR) membuat pengguna dapat terhubung ditempat kerja, sekolah, tempat wisata, pengawasan proyek, pengawasan perkebunan, dan tempat lain di seluruh dunia secara *online*. Teknologi virtual tidak dapat menggantikan pengalaman faktual, namun kombinasi keduanya berpotensi untuk menghadapi dinamisme dan ketidakpastian lingkungan.

Adopsi *Smart Building* pada *Workcation* dan *Staycation Post* Pandemi di antaranya pada model *forest Cabin* di Kabupaten Bandung Barat. Lokasinya dapat ditempuh dalam waktu sekitar 54 menit atau sekitar 21,3 km dari pusat Kota Bandung. Salah satu layanan jasa *forest Cabin* di Bandung menerapkan sensasi camping dengan desain modern dan memadukan teknologi *Internet of Things* (IoT) untuk mendukung kenyamanan selama menginap. Salah satu penerapan teknologi tersebut adalah kecanggihan fitur *QR code* dalam membuka pintu setiap kabin. Segi tata ruang kabin ini, juga dibuat dengan memperhatikan jarak untuk keamanan dan kenyamanan sehingga privasi sudah terjamin tanpa mengurangi suasana kebersamaan, termasuk dengan keluarga. Fitur-fitur di dalam kabin juga tidak kalah menarik yaitu *smart glass window, mood lamps* dan *bluetooth audiospeake*r yang dapat diatur pengguna melalui ponsel.



Gambar 3. Adopsi *Smart Building* pada desain Cabin di Bandung
Sumber: www.sfa.gov.sg

Fasilitas penunjang yang ada di Cabin ini yaitu *WiFi*, toilet, area *display* produk UMKM dan area *gathering*. Semua area juga dibersihkan dan sudah menerapkan protokol kesehatan. Fasilitas *hand sanitizer* tersedia di beberapa tempat seperti lobi, toilet dan kabin. Lingkungan cabin berada disekitar pemandangan pohon pinus dengan udara pegunungan yang sejuk. Apabila bepergian pada pagi dan sore hari, sering diiringi kabut yang dingin di sepanjang jalan. Area cabin juga dilengkapi spot-spot foto menarik yang *Instagrammable*. Segi tata ruang kabin ini, juga dibuat dengan memperhatikan jarak untuk keamanan dan kenyamanan sehingga privasi sudah terjamin tanpa mengurangi suasana kebersamaan, termasuk dengan keluarga.

4. Modular Building: *Co-working Space* di Brasil

Kontainer sering digunakan kembali untuk tujuan kreatif arsitek. *Co-working Space* terbuat dari kontainer pengiriman yang didaur ulang menjadi ruang kantor, studio rekaman, restoran, dan ruang konferensi. Selain *co-working, space* juga menyelenggarakan acara seperti festival musik, seni jalanan, dan skateboard. *Coworking space* adalah sebuah ruang kerja baru dimana kita berkerja bersamaan dengan orang lain dari perusahaan yang berbeda di satu tempat yang sama, Coworking space berasal dari bahasa inggris yang berarti sebuah ruangan yang digunakan untuk berkerja , coworking space mengedepankan konsep *sharing* dalam satu ruangan .



Gambar 4. Modular Building untuk *Co-working Space* di Brasil

4.2 Evaluasi Relevansi dan Tingkat Kematangan Teknologi

Ditinjau dari tingkat relevansi teknologi, semua komponen teknologi *smart building* dan teknologi modular dinilai sangat penting oleh responden. Rata-rata skor tingkat relevansi teknologi *smart building* =

4.57 (berada dalam interval 4.21 – 5, masuk dalam kategori sangat penting). Berdasarkan hasil wawancara dengan praktisi bangunan dan akademisi dapat diketahui bahwa bangunan pintar berpotensi digunakan untuk mengatasi tantangan kesehatan dan keselamatan pada kondisi pandemi. Kepintaran buatan berpotensi digunakan untuk dapat memberi tahu tentang apakah pengguna ruangan telah menggunakan masker, apakah pengguna menjaga jarak sosial dengan benar. Kepintaran buatan juga dapat dapat digunakan untuk pemantauan hunian, memperingatkan tentang berapa banyak orang yang ada di dalam gedung, dan membatasi akses setelah batas hunian yang ditetapkan terpenuhi.

Tabel 1. Relevansi dan Tingkat Kematangan Teknologi

Teknologi Konstruksi dan Bangunan	Relevansi Teknologi*)	Tingkat Kematangan Teknologi**)
A. *Smart Building*	**4.57**	**3.65**
1. *Screening* pengguna	4.59	3.69
2. Pengaturan Sirkulasi	4.56	3.75
3. Kontrol Kualitas/kebersihan Udara	4.56	3.69
4. Kontrol Sirkulasi Udara	4.72	3.72
5. Kontrol Suhu Ruang	4.63	3.59
6. Kontrol Pencahayaan Ruang	4.50	3.66
7. Kontrol Kepadatan Pengguna Ruang	4.53	3.47
8. Teknologi bebas sentuh	4.53	3.84
9. Deteksi Kebutuhan Pemeliharaan	4.55	3.44
B. Sistem Modular	**4.67**	**3.46**
1. Ruang mudah dikonfigurasikan ulang	4.75	3.31
2. Kontrol kualitas material	4.53	3.50
3. Kontrol kualitas produksi	4.72	3.58
4. Kemudahan produksi	4.69	3.44

Keterangan:
*) 1 – 1.8=sangat tidak penting, 1.81 – 2.6=tidak penting, 2.61 – 3.4 = cukup penting, 3.4 – 4.2= penting, 4.21 – 5=sangat penting
**) 1 – 1.8=sangat rendah, 1.81 – 2.6=rendah, 2.61 – 3.4 = cukup (*moderate*), 3.4 – 4.2= tinggi, 4.21 – 5=sangat tinggi
Sumber: FGD dengan akademisi dan praktisi bangunan

Sensor suhu dapat mencegah ancaman kesehatan, dengan mendeteksi potensi demam pada pengunjung di pintu masuk bangunan. Manajer bangunan juga dapat menambahkan pertanyaan dalam sistem informasi untuk menilai riwayat kesehatan seseorang sebelum diizinkan masuk ke bangunan. Teknologi bebas sentuh juga dapat membantu mencegah penyebaran COVID-19.. Hanya dengan menggunakan ponsel, pengunjung dan karyawan dapat mengakses pintu masuk, lift, dan lainnya tanpa sentuhan. Namun, saat bangunan menjadi lebih pintar, risiko keamanan dan perlindungan data meningkat.

Penggunaan kembali adaptif. Strategi ini merupakan pendekatan yang sensitif dan berkelanjutan untuk menciptakan fasilitas darurat. Selama pandemi, fasilitas olahraga, tempat parkir, dan bangunan lainnya berubah menjadi fasilitas medis dan rumah sakit sementara. Akan ada persyaratan untuk rencana penggunaan kembali yang lebih efisien, efektif, dan fleksibel untuk krisis di masa depan. Strategi ini menguntungkan bila diintegrasikan dengan teknologi maju lainnya di sektor konstruksi.

Struktur yang ringan dan mudah beradaptasi. Saat merespons pandemi, struktur yang ringan dan mudah beradaptasi seringkali lebih disukai karena kecepatan dan portabilitasnya. Desainer sedang mengembangkan dan merakit struktur sementara ini untuk membuat rumah sakit lapangan yang dapat dengan mudah diangkut dan didirikan untuk pasien COVID-19.

Hasil evaluasi tingkat kematangan teknologi (*maturity level*) sistem bangunan pintar (*smart building*) diperoleh rata-rata skor 3.65 (berada dalam interval 3.41 – 4.2, atau masuk dalam kategori *moderate*). Artinya teknologi bangunan sudah banyak diterapkan di bebarapa bangunan di Indoensia, namun masih dalam tahap pengembangan dan perlu terus dikembangkan.

Rata-rata skor tingkat relevansi teknologi sistem modular = 4.67 (berada dalam interval 4.21 – 5, masuk dalam kategori sangat penting). Teknologi modular memudahkan bangunan mudah untuk dikonfigurasikan ulang yaitu ditambah, dikurangi, diganti, dikombinasikan sesuai dengan kebutuhan perubahan fungsi bangunan atau perubahan lingkungan baik kondisi normal maupun pandemi. Perubahan tersebut dilakukan untuk komponen tambahan tanpa merubah struktur inti. Berdasarkan hasil wawancara dengan praktisi bangunan dan akademisi dapat diketahui bahwa model pepabrikasi dalam sistem modular seperti: penggunaan modul konstruksi kontainer dan sistem *plugin* berpotensi memudahkan kontrol kualitas material dan konstruksi bangunan. Konstruksi modular berpotensi untuk menghadapi pandemi atau bencana alam dan untuk menciptakan bangunan yang lebih murah dan lebih cepat dibangun. Penting untuk memenuhi beragam persyaratan layanan kesehatan dengan komponen standar prefabrikasi. Komponen-komponen ini dapat membantu bangunan beradaptasi dengan persyaratan perawatan dan

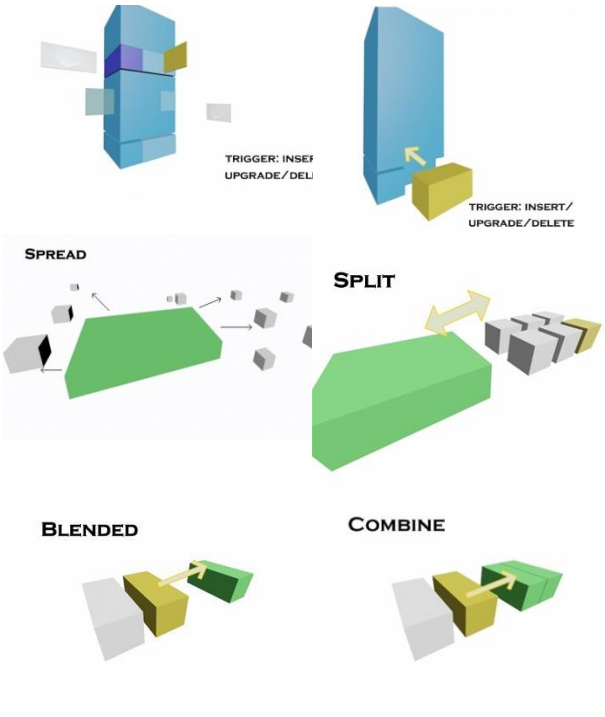
karantina. Teknologi modular berpotensi memudahkan produksi bangunan dengan cepat, misalnya penambahan unit *emergency* ketika bangunan penginapan atau hotel berubah fungsi menjadi rumah sakit.

Hasil evaluasi tingkat kematangan teknologi (*maturity level*) sistem modular diperoleh rata-rata skor 3.46 (berada dalam interval 3.41 – 4.2, atau masuk dalam kategori *moderate*). Artinya teknologi tersebut masih dalam tahap pengembangan dan perlu terus dikembangkan. Hasil wawancara juga ditemukan hasil bahwa adopsi sistem teknologi bangunan pintar dan sistem modular perlu disesuaikan dengan kondisi iklim, sosial budaya dan risiko terhadap ketergantungan teknologi. Beberapa informasn menilai bahwa teknologi pepabrikasi dalam sistem modular seperti: penggunaan modul konstruksi kontainer perlu disesuaikan dengan iklim tropis, serta membarikan ancaman pengurangan tenaga kerja konstruksi. Penggunaan material modular seperti prefabrikasi dan kontainer perlu disesuaikan dengan iklim tropis seperti dengan menggunakan lapisan-lapisan material yang mampu bertahan dari penyerapan suhu yang berlebih. Produksi sistem pepabrikasi oleh UKM (usaha kecil dan menengah) berpotensi untuk mengatasi ancaman pengurangan tenaga kerja konstruksi.

4.3 Analisis Tipologi Konfigurasi Ruang

Berdasarkan deskripsi kasus dan hasil diskusi kelompok kecil dengan akademisi dan praktisi perencana bangunan maka dapat disusun tipologi konfigurasi fungsi ruang untuk kapasitas adaptif bangunan selama pandemi. Bangunan untuk adaptif terhadap perubahan lingkungan yang dinamis mempunyai kebutuhan untuk mudah dikonfigurasikan ulang, seperti dalam kasus perubahan wisma atlet menjadi rumah sakit darurat, pemanfaatan atap bangunan parkir untuk kemandirian pangan lokal di wilayah perkotaan, adopsi teknologi bangunan *smart* dan modular untuk hunian *staycation* dan *workcation,* dan bangunan *co-working*.

Sistem Teknologi Bangunan dapat menggunakan berbagai mode adaptif ditengah perubahan lingkungan post pandemi *covid-19* baik kondisi pandemi dan normal. Sistem Teknologi Bangunan dapat menggunakan berbagai mode adaptif sesuai kondisi zonasi wilayah pada kondisi pandemi dan tidak pandemi (normal).



Gambar 5. Tipologi Konfigurasi Fungsi Ruang untuk Kapasitas Adaptif Bangunan selama Pandemi

a. *Insert*

Insert yaitu menambah bangunan lama dengan kapasitas baru untuk adaptif terhadap kondisi pandemi. Tambahan kapasitas baru adalah terdiri dari kapasitas *smart building*, *CHSE (Cleanliness, Healthiness, Safety, Environment) platform* dan *urban farming*.

b. *Replace*

Replace adalah seperti pada kasus atap bangunan parkir yang diamnfataan untuk kegiatan hidroponik selama pendemi. Layanan *face to face* juga digantikan layanan *online, workcation* dan *staycation* dan *work from home*. Beberapa ruang harus diganti untuk ruang-ruang emergensi ketika penginapan seperti wisma atlet diganti rumah sakit darurat selama pandemi.

Sebuah kabin yang terhubung dengan jaringan infrastruktur listrik perkotaaan dapat dengan mudah dirubah dengan mudah menggunakan sumber energi alternatif ketika tidak ada akses jaringan infrastruktur wilayah melalui mode *plugin*. Sebuah ruang tempat tidur dapat dirubah dengan cepat menjadi ruang kerja, kantor, café, ruang keluarga dengan menambah, menghapus, dan mengubah *plugin* yang ada.

Hotel dan dalam kondisi normal yaitu dapat tetap beroperasi secara normal sesuai fungsi hotel dan

penginapan dengan tetap menjaga higenitas lingkungan. Hotel dan dalam kondisi pandemi yaitu potensi penyebaran tinggi, hotel dan penginapan dapat merubah layanan ke mode layanan ke-2 dan ke-3. Mode layanan ke-2 yaitu merubah fungsi hotel dan penginapan menjadi rumah sakit jika diperlukan, dengan menambahkan beberapa modul yang mudah diaplikasikan seperti: laboratorium, farmasi dan ruang medis lainnya. Mode layanan ke-3 yaitu merubah fungsi hotel dan penginapan menjadi tempat tinggal sementara yang tetap nyaman walaupun kondisi terisolasi. Teknologi internet, proyektor dinding dengan teknologi infrared membuat pengguna dapat terhubung ditempat kerja, sekolah, tempat wisata, pengawasan proyek, pengawasan perkebunan, dan tempat lain di seluruh dunia secara *online*.

c. *Break-Combine*

Pada kondisi ketidakpastian, industri manufaktur perlu adaptif dengan mengadopsi kemampuan dinamis seperti *Agile Business Mode* melalui mode *Combine* untuk meningkatkan skala ekonomi dan break untuk jarak sosial. Kombin adalah beberapa fungsi digabungkan untuk meningkatkan efisiensi skala ekonomi. *Break* adalah beberapa fungsi ruang dipisah untuk mengurangi kepadatan (jarak social). Sistem teknologi bangunan manufaktur perlu adaptif dengan mengembangan infrastruktur teknologi yang mendukung pelayanan otomatisasi, *hybrid mode*, *flexible mode*, antara kerja di pabrik (massal) dan kerja dari rumah (sub kontraktor). Industri manufaktur skala kecil yang bersifat *home industri* mempunyai fleksiblitas dan kelincahan terhadap perubahan, Pada kondisi pandemi, manufaktur perlu di *breakdown* ke usaha skala kecil. Pada kondisi normal, usaha maufaktur dapat di gabungkan untuk efisiensi usaha.

d. *Blended*

Blended menggabungkan dua jenis layanan sekaligus dalam satu ruang. Ruang-ruang fisik dan virtual. Bekerja belajar dimana saja kapan saja sambil berlibur. Pada kondisi pandemi, teknologi internet, proyektor dinding dengan teknologi *infrared, advanced robotic, internet of things (IoT),* dan *augmented reality/virtual reality (AR/VR)* membuat pengguna dapat terhubung ditempat kerja, sekolah, tempat wisata, pengawasan proyek, pengawasan perkebunan, dan tempat lain di seluruh dunia secara *online*.



Gambar 6. Ilustrasi *Blended Space*

5. Kesimpulan

Sistem teknologi bangunan pintar dan sistem modular berpotensi untuk diadopsi sebagai strategi adaptif bangunan di tengah perubahan lingkungan pasca pandemi covid-19. Sistem Teknologi Bangunan pintar berpotensi dalam membantu dalam kontrol bangunan. Sistem Teknologi Bangunan modular meningkatkan kemudahan bangunan, ruang atau komponennya untuk dikonfigurasikan kembali dalam merespon perubahan lingkungan baik dalam kondisi normal maupun kondisi episenter pandemi. Namun demikian, sistem struktur dalam teknologi bangunan pintar dan sistem modular yang mudah dikonfigurasikan selama ini pada umumnya menggunakan konstruksi dengan struktur baja, prefabrikasi, kontruksi container dan sejenis serta dukungan infrastuktur elektronik. Adopsi sistem teknologi bangunan pintar dan sistem modular perlu disesuaikan dengan kondisi iklim lokal (tropis), sosial budaya dan risiko teknologi.

Pustaka

Al-Humairi, S., & Kamal, A. (2021). Opportunities and challenges for the building monitoring systems in the age-pandemic of COVID-19: Review and prospects. *Innovative Infrastructure Solutions*, 6(2), 79. doi:10.1007/s41062-020-00454-0

Attia, Shady; Lioure, Romain; Declaude, Quentin (2020). Future trends and main concepts of adaptive facade systems. *Energy Science & Engineering*, (), ese3.725–. doi:10.1002/ese3.725

Bahar, Y.N. & Syoufa, A. (2009) *Pengantar Arsitektur: Teori dan Filosofi*. Jakarta: Ginadarma.

Bakker, R. (2020). *Smart Buildings: Technology and the Design of the Built Environment* (1st ed.). RIBA Publishing. doi:10.4324/9780429348051

Belausteguigoitia, J., Laurenz, J. and Gómez, A. (2011), Modular Ecotechnological Architecture: A Response to The Demands of the 21st Century, *Open House International*, 36(1), 95-102. doi: 10.1108/OHI-01-2011-B0011

Buckman, A.H., Mayfield, S., Beck, B,M. (2014). What is a Smart Building?, *Smart and Sustainable Built Environment* 3(2). 92 – 109. doi: 10.1108/SASBE-01-2014-0003

Di Pasquale, Joseph; Innella, Filomena; Bai, Yu (2020). Structural Concept and Solution for Hybrid Modular Buildings with Removable Modules. *Journal of Architectural Engineering,* 26(3), 04020032–. doi:10.1061/(ASCE)AE.1943-5568.0000423.

Di Salvo, Santina. (2020). New Technologies for Adaptive Architecture. *Urban and Transit Planning, Advances in Science*, Technology & *Innovation*, 457-465 doi:10.1007/978-3-030-17308-1_41.

Doe, R. M. (2021). An open, integrated modular format: For flexible and intelligible architecture, engineering and construction design and production. *International Journal of Architectural Computing*, 19(1), 23–36. doi:10.1177/1478077120943795

Douglas, J. (2006). *Building Adaptation* (2nd ed.). Routledge. doi:10.4324/9780080458519

Elkhateeb, Alaa Mohamed; Fikry, Mohamed Anwar; Mansour, Alaa Adel (2018). Dynamic building and its impact on sustainable development. *Alexandria Engineering Journal*, 57(4), 4145–4155. doi:10.1016/j.aej.2018.10.016

Feigh, K. M.; Dorneich, M. C.; Hayes, C. C. (2012). Toward a Characterization of Adaptive Systems: A Framework for Researchers and System Designers. Human Factors: The *Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 54(6), 1008–1024. doi:10.1177/0018720812443983

Kolarevic, B., & Parlac, V. (Eds.). (2015). *Building Dynamics: Exploring Architecture of Change* (1st ed.). Routledge. doi:10.4324/9781315763279

Lehman, M.L. (2016). *Adaptive Sensory Environments: An introduction* (1st ed.). Routledge. doi:10.4324/9781315630519

Megaheda, N. A., & Ghoneim, E. M. (2020). Antivirus-built environment: Lessons learned from Covid-19 pandemic. *Sustainable cities and society*, 61, 102350. doi:10.1016/j.scs.2020.102350

Piret, J., & Boivin, G. (2021). Pandemics Throughout History. *Frontiers in microbiology*, 11, 631736. doi:10.3389/fmicb.2020.631736

Pisaric, Milan & Dimitrieski, Vladimir & Veselinovic, Stefan & Babic, Milan & Dusic, FIlip. (2017). Towards a Plug-and-Play Architecture in Industry 4.0. *XVII International Scientific Conference on Industrial Systems (IS'17) Novi Sad, Serbia, October 4. – 6.*.

Preiser, W.F.E., Hardy, A.E., & Wilhelm, J.J. (Eds.). (2017). *Adaptive Architecture: Changing Parameters and Practice* (1st ed.). Routledge. doi:10.4324/9781315627113

Schmidt III, R., & Austin, S. (2016). *Adaptable Architecture: Theory and practice* (1st ed.). London: Routledge. doi:10.4324/9781315722931

Sharifi, A., & Khavarian-Garmsir, A. R. (2020). The COVID-19 pandemic: Impacts on cities and major lessons for urban planning, design, and management. *The Science of the total environment*, 749, 142391. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.142391

Suri, N., & Cabri, G. (2014). *Adaptive, Dynamic, and Resilient Systems* (1st ed.). Auerbach Publications. doi:10.1201/b17131

Wallance, D. (2021). *The Future of Modular Architecture* (1st ed.). Routledge. doi:10.4324/9781003031932

Wei, Y., Choi, H. and Lei, Z. (2021), A generative design approach for modular construction in congested urban areas, *Smart and Sustainable Built Environment*, ahead-of-print No. ahead-of-print. doi: 10.1108/SASBE-04-2021-0068

Wilkinson, Sara J.; Remøy, Hilde; Langston, Craig (2014). *Sustainable Building Adaptation: Innovations in Decision-Making*. (1nd edition). United Kingdom: John Wiley & Sons. doi:10.1002/9781118477151

Xu, Y., & Juan, Y. K. (2021). Design Strategies for Multi-Unit Residential Buildings During the Post-pandemic Era in China. *Frontiers in public health*, 9, 761614. doi:10.3389/fpubh.2021.761614

Zarzycki, Andrzej; Decker, Martina (2019). Climate-adaptive buildings: Systems and materials. *International Journal of Architectural Computing, 17(2), 166–184.* doi:10.1177/1478077119852707

Zhu, F.-w., Sun, X.-x., Miller, J. Deng, Z.-j. (2014), Innovations in Knowledge Management: Applying Modular Design, *International Journal of Innovation Science*, 6(2), 83-96. doi:10.1260/1757-2223.6.2.83