

Rumah susun modular dengan pemanfaatan papan prafabrikasi *cross laminated timber panel* (CLT), kasus studi: rumah susun Siwalankerto, Surabaya

Wisnu A. Sanjaya, Rumiati Rosaline Tobing*

Program Studi Pascasarjana Magister Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Parahyangan Jl. Merdeka no. 30, Bandung, Indonesia

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p><i>Article history:</i> Received December 11, 2018 Received in revised form Jan. 04, 2019 Accepted May 26, 2019 Available online June 01, 2019</p>	<p>Modular low-cost vertical housing benefit from using prefabricated cross laminated timber panel Case study: vertical housing Siwalankerto, Surabaya</p>
<p><i>Keywords:</i> Vertical housing CLT wood panel Prefabricated Modular</p>	<p>Surabaya is the second most populated city in Indonesia. Its ever-growing population creates a problem with its limited number of low-cost housing. Seeing how slow the progress of constructing low cost vertical housing to meet the demands, it requires a faster and more efficient way. By using a modular construction method, this paper tries to analyze the benefit of using an alternate material such as prefabricated CLT (Cross Laminated Timber) panel. CLT panel shows a high potential in creating a better construction that is more environmentally friendly while still benefiting from a faster and lower cost by overall. Siwalankerto vertical housing was chosen due to its modular style of design and usage of material in its façade that is easier to simulate using a prefabricated material. Its location in Surabaya that is near Gresik where the manufactures capable manufacturing the prefabricated material also make it a great choice. This paper limits itself on construction efficiency and effectiveness simulated towards using prefabricated CLT panel and the effects of said material to the organization of rooms inside the building.</p>
<p>*Corresponding author: Rumiati Rosaline Tobing Program Studi Pascasarjana Magister Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Parahyangan, Indonesia Email: runitob@yahoo.com ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7771-3610</p>	

Pendahuluan

Di Kota Surabaya terdapat keterbatasan lahan yang diakibatkan oleh semakin meningkatnya tingkat kepadatan penduduk. Keterbatasan lahan ini terutama terjadi di daerah yang menjadi pusat perekonomian, dengan semakin meningkatnya harga tanah sehingga perumahan yang bersifat bertanah/*landed* tidaklah lagi memungkinkan bagi masyarakat menengah kebawah. Rumah susun adalah sebuah solusi yang memungkinkan penduduk dengan penghasilan menengah kebawah untuk dapat memiliki rumah tinggal yang terletak cukup dekat dengan pusat perekonomian.

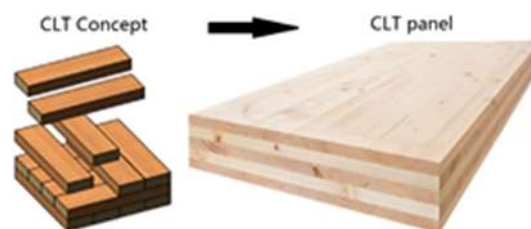
Indonesia adalah negara yang memiliki iklim tropis dengan hasil alam yang luar biasa. Luas hutan di Indonesia dengan lahan yang cocok sangatlah potensial untuk dijadikan sebagai hutan alam, hutan rakyat dan juga hutan tanaman industri. Dengan banyaknya potensial, sumber daya kayu dapat digunakan sebagai bahan bangunan yang lebih ramah lingkungan dan *sustainable*.



Gambar 1. Perkebunan kayu jabon putih dengan sistem siklus tanam 5 tahun memastikan penyediaan bahan dasar kayu, foto oleh Albisia Falcatta

Produksi dari bahan baku kayu jauh lebih ramah lingkungan dan rendah energi dibandingkan dengan industri semen dan baja. Transportasi bahan CLT dengan bentuk yang sesuai dengan kebutuhan dan berat yang ringan jauh lebih mudah dengan menggunakan kontainer. Kayu selain merupakan material *renewable* yang dapat menyerap gas karbon dari udara yang jauh lebih baik dari pada material beton dan baja (Tjondro and Pranata 2010).

Kawasan rumah susun Siwalankerto adalah salah satu kawasan rumah susun sederhana yang dibangun untuk mencukupi kebutuhan dari rumah tinggal bagi warga terdampak proyek *urban renewal*. Terletak di perbatasan antara kota Surabaya dengan Sidoarjo bangunan rumah susun sederhana ini digunakan sebagai rumah susun sewa sementara. Menurut target pemerintah kota Surabaya untuk meningkatkan taraf hidup penghuninya agar dapat memiliki rumah tinggal sendiri.



Gambar 2. Konsep teknologi panel CLT (*Cross Laminated Timber*/papan sambung silang), model simulasi dalam www.fpl.fs.fed.us

CLT (*Cross Laminated Timber*) adalah salah satu jenis prafabrikasi kayu rekayasa baru yang pengembangannya sedang dilakukan untuk meningkatkan kecepatan pembangunan. Bahan ini memungkinkan bangunan untuk dibangun dengan menggunakan sistem panel. CLT diketahui dapat dibentuk dengan menggunakan kayu *softwood* maupun *hardwood*. CLT

diprefabrikasi di pabrik sesuai dengan kebutuhan bangunan, ini memungkinkan pembangunan bangunan dengan cepat.

Struktur bangunan panel yang berbahan dasar kayu memiliki kelebihan tersendiri apabila dibandingkan dengan sistem struktur kolom dan balok menggunakan beton bertulang sebagai bahan dasarnya. Sistem panel menggunakan panel kayu CLT sebagai struktur utama dari bangunan yang sekaligus berfungsi sebagai dinding interior dari bangunan.

Panel CLT adalah teknologi perkayuan yang sudah mulai diadopsi di luar negeri sebagai perkembangan bahan bangunan baru yang lebih efisien dan ramah lingkungan (Muthmainnah, Sadiyo, and Karlinasari 2014). Pengembangan teknologi perkayuan yang ada di Indonesia seringkali hanya difokuskan pada pasar ekspor. Hal tersebut diimbangi oleh sedikitnya perhatian oleh pengguna dalam negeri terhadap sistem baru walaupun lebih efisien. Tulisan ini melihat dampak dari pemanfaatan panel CLT pada bangunan rumah susun serta perubahan sistem yang terjadi pada bangunan apabila disimulasikan menggunakan panel CLT.

Sistem modular fabrikasi dikembangkan untuk meningkatkan efisiensi dari proses pembangunan yang ada (Atthaillah and Saputra 2018). Sistem prafabrikasi meningkatkan kinerja dengan melakukan proses pembangunan elemen dari pada bangunan di pabrik bersamaan dengan dilakukannya persiapan pada site seperti fondasi. Tulisan ini juga melihat perbandingan simulasi dari sistem panel yang menggunakan prafabrikasi panel CLT terhadap sistem rangka konvensional pada bangunan rusun Siwalankerto.

Tujuan dari pada tulisan ini adalah bentuk pemanfaatan dari prafabrikasi Papan CLT disimulasikan ke dalam bangunan rumah susun yang sudah ada dengan melihat efisiensi pada waktu pembangunan dan struktur.

Manfaat dari tulisan ini yaitu:

- a. Basis pemakaian dari pada sebuah bahan baru yang bisa dimanfaatkan untuk mempercepat pembangunan dari fasilitas masyarakat (rumah tinggal) yang masih terdapat kekurangan jumlah;
- b. Pengembangan kerja sama di bidang konstruksi rumah susun dengan memanfaatkan sumber daya alam yang lebih ramah lingkungan dan *sustainable*.

Temuan dan pembahasan

Kajian rumah susun modular

Rumah susun modular membuat standard dimensi rumah susun yang bisa diterapkan dalam kedalam faktor yang nyata seperti dimensi, manufaktur bahan, dan perakitan bangunan untuk mempercepat pembangunan, mengurangi biaya pengerjaan dan meminimalisir limbah bangunan. Modul yang terjadi bersifat universal dan bisa digunakan untuk bangunan lain secara fleksibel.

Bangunan rumah susun masuk ke dalam bangunan rumah tinggal biasa apabila melihat dari pembagian kelas bangunan yang dijelaskan pada SNI-1728-1989-F mengenai Standar Tata Cara Pelaksanaan Mendirikan Bangunan Gedung (BSN (Badan Standarisasi Nasional) 2005).

Koordinasi modular adalah suatu sistem koordinasi dimensional dari berbagai produk bahan, komponen dan elemen bangunan dalam suatu bangunan yang didasarkan atas modul dasar, multimodul dan submodule. Pengelompokan module satuan rumah susun dapat menggunakan beberapa cara dalam penentuan ukurannya dan bahan modul fungsi dipertimbangkan pada bahan struktur, dinding partisi dan lantai pengisi.

Arsitektur modular secara fungsi memisahkan sambungan antara komponen di dalam bangunan. Dalam prakteknya, menjurus ke arah arsitektur yang elemen fungsi di dalam bangunannya berdiri sendiri terhadap komponen dari desainnya. Berbeda dengan arsitektur integral yang menyambungkan komponen di dalam bangunan. Biasanya lebih memiliki jaringan elemen fungsi terhadap komponen desain arsitektur yang lebih kompleks (Holttta-Otto 2005).

Modularitas berarti menggunakan modul yang sama di dalam konfigurasi yang berbeda-beda, memberikan jalan untuk variasi desain tanpa menggunakan banyak tipe komponen. Modularitas memberikan beberapa keuntungan seperti modal yang lebih rendah dan ekonomis. Modularitas sangat menguntungkan apabila skala dan cakupan pekerjaan besar dan berulang. Dalam kasus seperti itu, pilihan yang jauh lebih praktis dan ekonomis menjadi hal utama. Melalui modularitas, desainer bisa mencapai desain yang bervariasi, dan juga menghemat biaya dalam pengembangan, desain, dan pembangunan. Untuk itu, desainer akan menemukan bahwa modularitas

mendorong produktifitas dalam kreasi desain (McCluskey 2015).

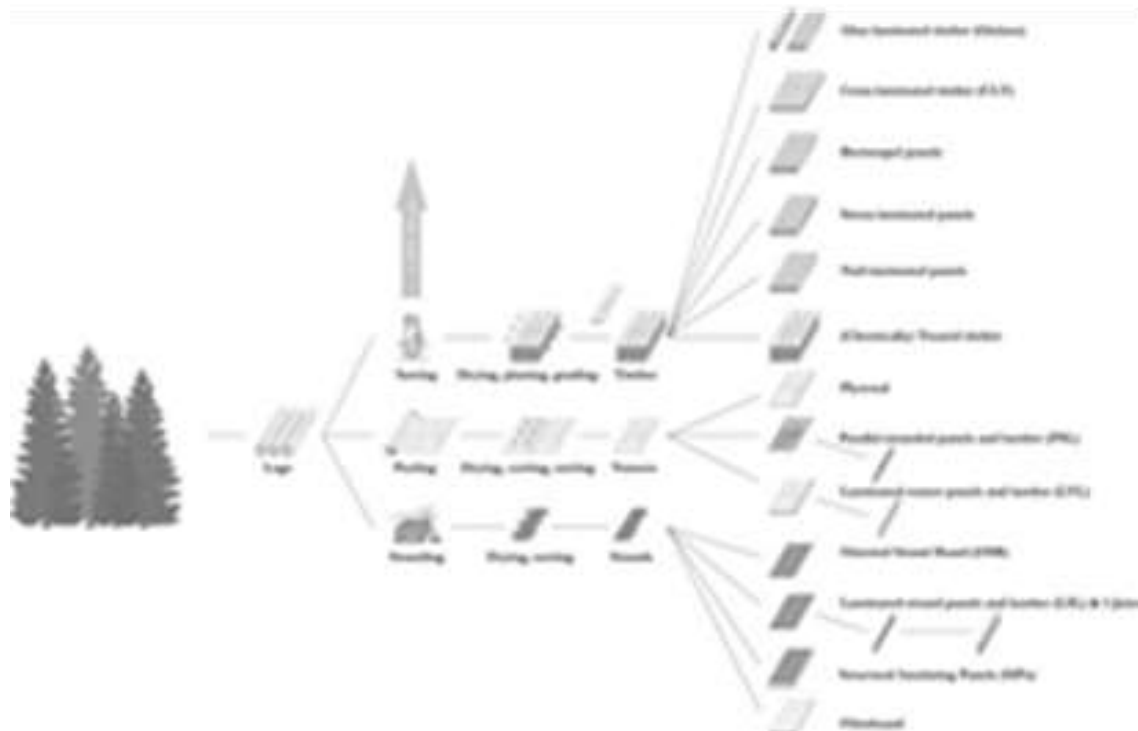
Pembangunan modular adalah proses pembangunan yang menggunakan pembuatan komponen prafabrikasi di luar tapak kemudian di kirim ke tapak dalam keadaan hampir selesai. Saat ini bangunan bisa dikatakan modular dalam pembangunannya apabila proses pembuatannya 60-80% dilakukan di luar tapak yang ada sebelum dikirimkan ke lokasi tapak (Report Annual 2011). Dalam pembangunan modular dibagi menjadi:

1. Permanent Modular Construction (PMC) adalah sistem pembangunan dengan komponen prafabrikasi di rakit terikat pada fondasi yang berbentuk permanen. Komponen modular yang dibangun bisa dibentuk menyatu dengan bangunan yang sudah ada ataupun berdiri sendiri. Walau menurut perhitungan dasar biaya pengadaan komponen dan perakitan berkisar sama dengan pembangunan normal, waktu yang terhemat dalam perakitannya lebih baik. Bangunan modular permanen saat ini hanya berkisar 1% dibandingkan bangunan yang dibangun normal. Kebanyakan dari bangunan yang ada dibiayai oleh pemodal swasta dan merupakan kerja sama antara arsitek, insinyur, industry modular, dan kontraktor bangunan (Report Annual 2011);
2. Bangunan nonpermanen (rekolasi) dibangun dengan maksud sebagai bangunan sementara yang bisa direlokasi tapi dengan fungsi yang normal seperti bangunan biasa atau memiliki keterbatasan penggunaan. Biasanya bangunan ini memiliki sambungan untuk memudahkan perpindahan bangunan menggunakan roda yang bisa dilepas. Dalam sejarahnya industri arsitektur sering memberikan solusi sementara yang dapat berfungsi di tapak pembangunan. Saat ini dengan teknologi yang adalah bangunan dapat memiliki fungsi yang lebih dari satu dan juga cukup kuat untuk bertahan dalam masa hidupnya. Bahan prafabrikasi dari bangunan dibentuk di industri manufaktur dan hanya memerlukan sedikit perakitan di tapak sebelum bangunan bisa berfungsi. Sebagian besar bangunan modular sementara digunakan untuk kantor di tapak pembangunan atau pembukaan tanah di wilayah baru.

CLT adalah produk baru dari pengembangan teknologi perkayuan untuk mencapai sebuah bahan bangunan yang lebih ramah lingkungan dan juga menggunakan kayu yang dianggap lebih *sustainable*. Kayu harus melalui beberapa proses

yang bisa dimodifikasi sesuai dengan kebutuhan dari pada desain sebelum dapat dimanufaktur

menggunakan mesin *cold press* menjadi CLT (lihat gambar 3).



Gambar 3. Menunjukkan pelbagai cara dan hasil akhir dari rekayasa kayu, ilustrasi dan sumber dari *wood handbook*

Engineered Timber Product	Parallel Strand Lumber (PSL)	Laminated Veneer Lumber (LVL)	I-Joist	Glulam	Structural Insulating Panel (SIP)	Cross Laminated Timber (CLT)	Boisagap
Typical Detail							
Application	<ul style="list-style-type: none"> • Beams • Columns 	<ul style="list-style-type: none"> • Beams • Columns • Core 	<ul style="list-style-type: none"> • Joist • Beams 	<ul style="list-style-type: none"> • Beam (Long span) • High Loading 	<ul style="list-style-type: none"> • Roof • Wall • Floor 	<ul style="list-style-type: none"> • Roof • Wall • Floor 	<ul style="list-style-type: none"> • Roof • Wall • Floor
Usage	Interior	Interior	Interior	Interior / Exterior	Interior	Interior / Exterior	Interior / Exterior

Gambar 4. Bentuk-bentuk dari kayu rekayasa yang sering digunakan dalam konstruksi bangunan acuan dari *wood handbook*

Kayu yang digunakan merupakan kayu hutan tanam industri yang lebih ramah lingkungan dan *sustainable* dibandingkan dengan proses produksi besi baja ataupun beton. Menurut perkiraan penggunaan kayu pada bangunan seukuran kasus studi dapat menyimpan hingga 181 cubic ton carbon emisi. Dan dengan tidak menggunakan beton bertulang sebagai *frame* struktur utama

bangunan akan menyimpan hingga lebih dari 120 *cubic ton carbon* emisi ke depannya.

Kasus perancangan rumah susun Siwalankerto

Rumah susun Siwalankerto terletak di jalan Siwalankerto Timur V Mulyosari, Kecamatan Wonocolo, Surabaya, Jawa Timur 60236. Rumah

susun dibangun untuk mewedahi masyarakat Kota Surabaya yang terkena dampak Urban renewal dan normalisasi bantaran sungai yang menjadi proyek utama pemerintah Kota Surabaya. Sistem hunian diketahui sebagai rumah susun

sewa dengan biaya sewa sebesar Rp. 60.000 – Rp. 100.000. Sebagian besar biaya perawatan lingkungan dan kelestarian bangunan disubsidi oleh pemerintah kota dari APBD.



Gambar 5. Masterplan dari kawasan rumah susun Siwalankerto, Surabaya dalam laman bappeko.surabaya.go.id

Kawasan rusun masuk ke dalam tata guna fasilitas umum menurut dari peta peruntukan dari Pemerintah Kota Surabaya. Di bagian Utara dari Kawasan rusun terdapat zona residential, saat ini masih berupa lahan kosong yang dimanfaatkan sebagai lahan pertanian. Akses utama menuju ke Kawasan rumah susun melalui jalan yang terletak di bawah jalan tol melalui Kota Sidoarjo. Saat ini fasilitas jalan yang ada menuju kawasan masih dalam kondisi yang buruk dan tidak diaspal dikarenakan belum selesainya tahapan pengembangan kawasan sehingga akses jalan masih berbentuk jalan tanah.



Gambar 6. Bagian Utara kawasan rumah susun Siwalankerto, Surabaya difungsikan sebagai lahan pertanian



Gambar 7. Bangunan rumah susun Siwalankerto, Surabaya dari arah gerbang masuk

Bangunan rumah susun adalah tower pertama dari dua tower rumah susun yang direncanakan untuk dibangun di kawasan rumah susun. Bangunan memiliki 5 lantai dengan sebagian besar unit hunian terletak di lantai 2 sampai 5. Setiap lantai tipikal memiliki 24 unit hunian tipe 24 yang ditujukan untuk 2 sampai 3 penghuni setiap unitnya. Dari perhitungan total terdapat 96 unit hunian ditambah 2 unit hunian di lantai dasar sesuai dengan standard bangunan rusun. Lantai dasar lebih difokuskan pada fasilitas penunjang bangunan seperti, kantor, musholla, ruang serba guna, utilitas, dan ruang parkir. Koridor menggunakan tipe *single loaded* dengan ruang terbuka di bagian tengah bangunan. Hanya terdapat satu tangga akses pada bangunan yang terletak di bagian sentral.

Bangunan rumah susun Siwalankerto memiliki dimensi panjang ± 54 meter dan lebar

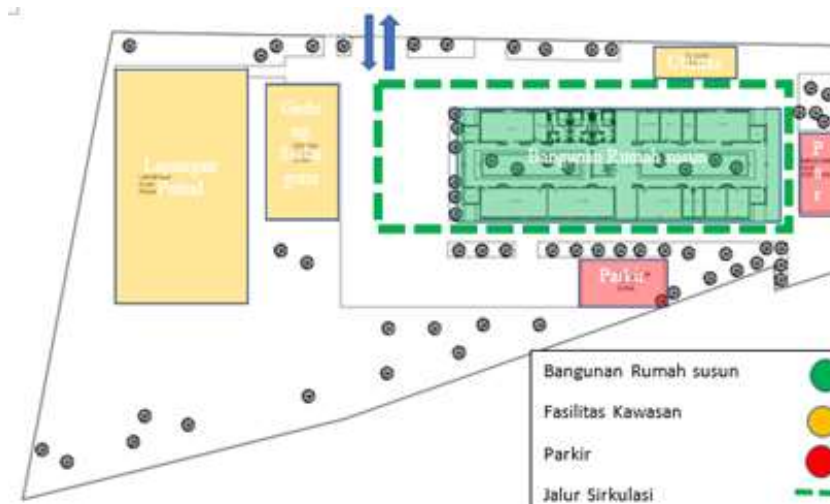
± 20 meter. Struktur rusun menggunakan sistem rangka dari beton bertulang konvensional. Sistem struktur rangka menggunakan kolom dan balok sebagai bagian struktur utama dari bangunan. Pada bangunan sebagian besar dinding berdiri pada ruang balok.

Ruang dalam bangunan terpotong oleh kolom dengan ketebalan 400 mm lebih tebal dari dinding yang berada di 150 mm. Dari data yang didapat diperkirakan waktu pembangunan 14 bulan dengan waktu perencanaan yang mencapai tiga tahun sejak pencanangan.

Desain rumah susun Siwalankerto menunjukkan penggunaan tata ruang modular berdasarkan pada dimensi grid kolom, jarak kolom yang berada di 4 meter dan 6 meter meningkatkan efisiensi bangunan dengan memudahkan pengadaan bahan dasar bangunan. Pada bagian akhir bangunan terdapat modul menggunakan jarak kolom dengan lebar 3 meter dan panjang 3 meter.

Lantai dasar lebih difokuskan pada fasilitas umum dan penunjang fungsi bangunan. Dengan ruang terbuka hijau di bagian tengah bangunan, pada lantai dasar terdapat ruang administrasi rumah susun, dua ruang parkir, ruang serbaguna dan ruang musholla. Pembagian ruang mengikuti dimensi modul dari unit hunian yaitu 4 meter x 6 meter. Untuk beberapa ruang serbaguna dinding pembatas dibuka untuk memberikan ruang yang lebih luas.

Terdapat ruang ruang parkir di dalam bangunan rumah susun. Kedua ruang terletak menghadap bagian utara dan terletak di barat dan Timur (lihat gambar 8).



Gambar 8. Bangunan rumah susun Siwalankerto, Surabaya dari arah gerbang masuk

Fasilitas parkir pada bangunan rusun diutamakan untuk penghuni. Ruang parkir memiliki dimensi lebar $\pm 5,2$ meter dengan panjang $\pm 9,5$ meter dan tinggi ± 3 meter. Keterbatasan ruang parkir dalam bangunan ini dibantu dengan bangunan semi permanen yang terdapat di luar bangunan rumah susun. Terdapat dua ruang parkir di bangunan dengan kapasitas sebesar ± 32 motor satu ruangannya. Secara total tersedia 64 ruang parkir motor untuk kebutuhan dari 98 unit hunian. Kondisi tersebut tidak memenuhi standar kebutuhan ruang parkir bangunan rumah susun.



Gambar 9. Fasilitas lapangan olahraga dan bangunan serbaguna dalam kawasan rumah susun Siwalankerto



Gambar 10. Motor parkir di luar bangunan dikarenakan keterbatasan ruang parkir dalam kawasan rumah susun Siwalankerto

Lobby tangga sebagai pusat sirkulasi dengan satu-satunya akses tangga terletak di bagian tengah bangunan. Lobby tangga menjadi pusat

interaksi penghuni maupun pengunjung bangunan. Hanya tersedianya satu tangga di bangunan rusun menyebabkan kepadatan penggunaan disaat tertentu, akan tetapi memudahkan pengawasan keamanan lantai di atas dengan letak kantor rusun yang dekat dengan posisi lobby. Keadaan lobby tangga dibiarkan terbuka untuk akses penghuni maupun pengunjung. Di bawah tangga difungsikan sebagai ruang penyimpanan barang oleh petugas rumah susun. Lobby tangga memiliki dimensi lebar ± 4 meter dengan panjang ± 5 meter dengan luas area sebesar ± 20 meter. Luas yang disarankan untuk lobby tangga dengan jumlah penghuni adalah sebesar 25,08 meter persegi. Terdapat kekurangan 5,08 meter persegi.

Fasilitas Musholla dan ruang wudhu tersedia di lantai dasar bagian Timur bangunan yang menghadap ke arah Selatan (lihat gambar 11), ruang musholla menggunakan 2 module unit dengan dimensi lebar 4 meter dan panjang 6 meter. Total area ± 24 meter persegi untuk setiap mushollanya. Tingkat efektifitas ruang tidak bisa ditentukan dikarenakan tidak diketahui tingkat aktivitas religi dari penghuni rumah susun. Apabila disimpulkan bahwa semua penghuni rumah susun adalah pengguna ruang, maka dibutuhkan 38,47 sampai 47,02 meter persegi untuk ruang musholla. Terdapat kekurangan sebesar $\pm 18,47$ meter persegi atau 43%. Ruang wudhu terletak tepat di sebelah ruang musholla dan memakai 1 unit module dibagi dua menurut gender.

Ruang serbaguna di lantai dasar terletak di bagian bangunan yang menghadap Selatan (lihat gambar 11) Ruang serbaguna menggunakan 8 module ruang 6 terletak di bagian Barat dan 2 di bagian Timur. Ruang difungsikan untuk berbagai macam kegiatan yang diperlukan oleh penghuni seperti pertemuan dan lain sebagainya. Dua ruang di bagian Barat memiliki luas area sebesar ± 72 meter persegi dan di bagian Timur sebesar ± 48 meter persegi. Dari perhitungan perkiraan diperlukan 85,75 meter persegi untuk ruang serbaguna bangunan rumah susun dengan jumlah penghuni yang ada. ini menunjukkan bahwa ruang serbaguna yang ada sudah mencukupi kebutuhan dari penghuni rumah susun.



Gambar 11. Layout organisasi ruang lantai dasar rumah susun Siwalankerto



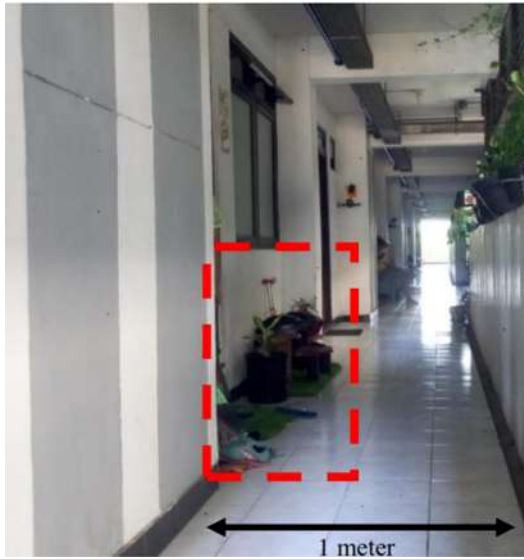
Gambar 12. Simulasi lokasi ruang serbaguna di bangunan rusun



Gambar 13. Layout Kawasan rumah susun Siwalankerto

hingga 1,5meter dengan panjang berada di 54meter. Ruang kepala pada koridor berada dengan ketinggian $\pm 2,7$ meter. Luas area koridor berada di 23meter persegi atau 26% dari total luas area lantai per lantai tipikal sebesar $\pm 881,8$ meter persegi. Keadaan tangga yang hanya berada di bagian tengah terdapat 1unit pintu dengan akses terjauh di ± 24 meter dalam keadaan darurat dan pintu fasilitas umum berada di ± 27 meter. Keadaan koridor terbuka dan bebas furniture, tetapi di beberapa titik terdapat penggunaan oleh penghuni sebagai ruang penyimpanan yang mengurangi lebar jalur sirkulasi (lihat gambar 14).

Koridor pada lantai tipikal dengan konsep *single load* terbuka ke bagian tengah ruang taman terbuka. Lebar koridor berada di antara 1meter



Gambar 14. Kondisi ruang koridor digunakan sebagai ruang penyimpanan barang privat oleh penghuni

Ruang koridor dengan lebar yang berbeda beda akan disederhanakan dalam sistem modular.

Penyederhanaan dimensi lebar ruang koridor menjadi 1 meter diutamakan untuk mengecilkan jumlah tipe module yang dibutuhkan untuk membentuk ruang koridor. Module lantai berada di lebar 1 meter dan panjang 2 meter (lihat gambar 14). Jumlah module yang dibutuhkan untuk membentuk ruang sirkulasi koridor dan lobby tangga di lantai tipikal berada di 136 module. Penggunaan satu tipe module dapat mempermudah manufaktur bahan dan meningkatkan efisiensi waktu pembangunan.

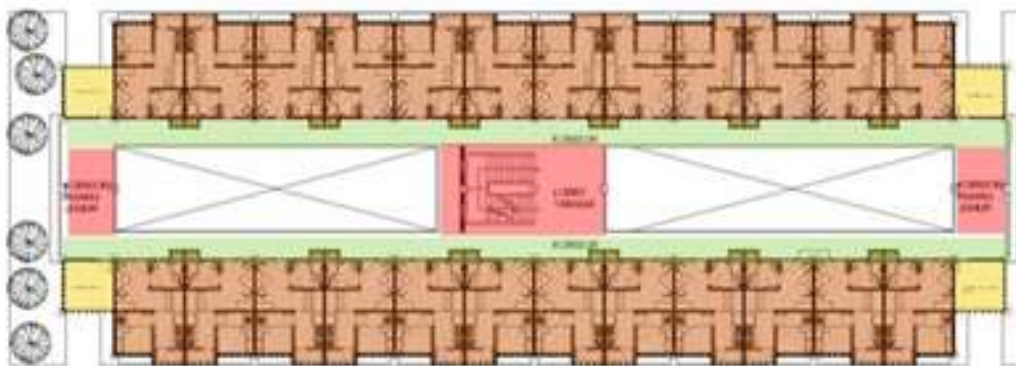
Simulasi pemanfaatan bahan pada lantai dasar difokuskan pada bagian dinding struktur bangunan. Penggunaan floating foundation disarankan dengan finishing yang baik sehingga tidak diperlukan lapisan tambahan pada bagian lantai. Module dinding memiliki dimensi lebar 1 meter, panjang 3 meter dengan ketebalan bervariasi antara 100mm hingga 200mm. module dinding digunakan sebagai struktur dinding geser (*load bearing wall*) (lihat gambar 15).



Gambar 15. Proses simulasi panel CLT ke dalam Desain

Lantai tipikal di bangunan rusun terdiri dari 24 unit tipe 24 dan 4 unit dengan fungsi fasilitas umum (lihat gambar 16). Terdapat pula 12 shaft utilitas di koridor yang digunakan untuk jaringan listrik dan air bersih. Setiap lantai hanya dapat diakses melalui lobby tangga yang terletak di

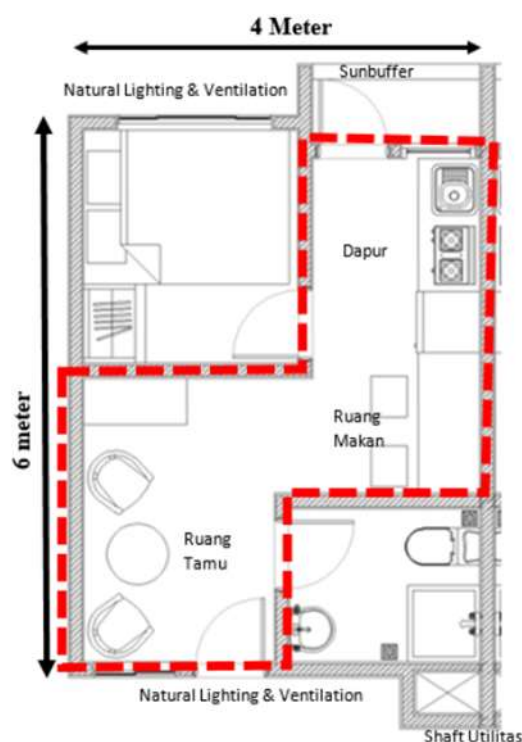
bagian tengah bangunan. Setiap unit module hunian maupun fasilitas dapat diakses menggunakan koridor dengan dua bagian akhir lebih besar. Bagian *core* bangunan berada ditengah bangunan dan tanpa ada akses tangga lain.



Gambar 16. Organisasi ruang lantai tipikal rumah susun

Modul unit hunian dalam rumah susun didesain dengan standard kebutuhan ruang hidup di bangunan vertikal berfungsi sebagai hunian. Setiap unit terdiri dari 1 kamar tidur, 1 kamar mandi, 1 ruang yang mencakup area tamu dapur dan makan, dan balkon/ruang jemur. Ruang dalam unit terdiri dari tiga ruang akhir dan satu ruang sirkulasi.

Ruang keluarga dari unit hunian memiliki konsep *open plan* dengan fungsi LDK (*living, dining, kitchen*) dimana satu ruang memiliki fungsi dari tiga ruang. Ruang menjadi jalur masuk utama dari koridor publik bangunan rumah susun. Jalur masuk utama terhubung dengan daerah tamu unit hunian (*living*) yang memiliki sifat area semi publik unit hunian. Ruang tamu memiliki sifat area semi publik dan ruang makan dan dapur bersifat lebih privat.

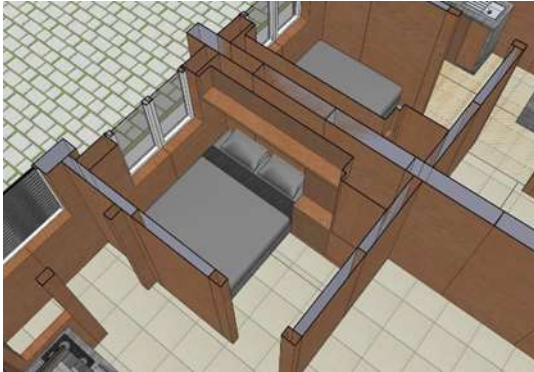


Gambar 17. Denah unit hunian rumah susun

Sebagai ruang sirkulasi dalam unit hunian ruang ini memiliki luas area sebesar 15,56meter persegi dengan pembagian ruang 40% ruang tamu, 20 ruang makan, 20% dapur dan 20% sirkulasi. Menurut perhitungan untuk luas area yang disarankan adalah sebesar 11,51 hingga 14,07 dengan memperhitungkan kebutuhan ruang untuk furnitur standar dan jumlah penghuni sebesar 2 orang.

Ruang kamar tidur sebagai ruang akhir memiliki dimensi lebar ± 2 meter dengan panjang $\pm 2,6$ meter dan ketinggian dinding $\pm 2,7$ meter. Ruang kamar memiliki area sebesar $\pm 5,2$ meter

persegi dengan volume ruang $\pm 14,04$ meter kubik. Ruang memiliki fungsi ruang tidur dengan aktivitas sampingan penyimpanan dan interaksi. Dimensi-dimensi tersebut berada di bawah luas ruang kamar tidur yang disarankan untuk tipe 24 yaitu 8,89 hingga 10,86 meter persegi. Akses dari kamar tidur berada di area dapur dari ruang keluarga yang memiliki konsep *open plan* LDK (*living, dining, kitchen*).



Gambar 18. Simulasi kamar tidur

Kamar mandi digunakan sebagai ruang mandi dan juga ruang cuci bagi penghuni unit hunian. Fasilitas dalam kamar mandi diperkirakan menggunakan toilet duduk dengan bak mandi sebagai kamar mandi basah.

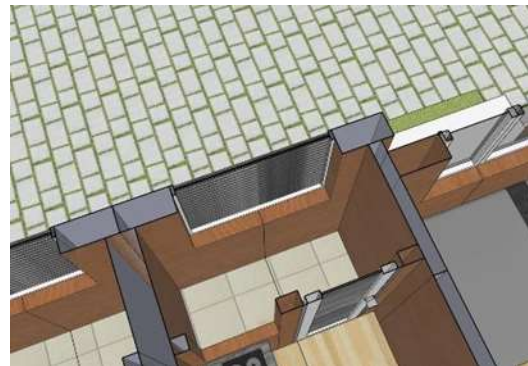
Ruang kamar mandi memiliki lebar $\pm 1,8$ meter dengan panjang ± 2 meter dan ruang kepala setinggi $\pm 2,5$ meter. Luas area ruang berada di $\pm 3,6$ meter persegi dengan total volume ruang 9,72 meter kubik. Ceiling (tinggi ruangan) banyak terpotong karena digunakan untuk pipa utilitas. Kamar mandi, menurut perhitungan membutuhkan ruang sebesar 3,2 hingga 3,8 meter persegi sehingga masih masuk ke dalam perhitungan.



Gambar 19. Simulasi kamar mandi

Ruang balkon pada unit hunian berada di bagian luar bangunan. Fungsi dari balkon lebih diperuntukan sebagai ruang jemur untuk kebutuhan dari penghuni. Façade dari balkon menggunakan cetakan semen untuk mengurangi cahaya matahari dari menyentuh dinding rumah susun secara langsung, juga untuk meningkatkan keamanan penghuni saat berada di balkon.

Ruang balkon memiliki dimensi panjang $\pm 0,87$ meter dengan lebar ± 2 meter. Komponen sunbuffer dari balkon tidak menutupi area balkon secara keseluruhan. Terdapat bukaan sebesar $\pm 0,4$ meter pada bagian atas balkon. Dengan area ruang sebesar 1,75 meter persegi fungsi dari ruang jemur tidak dapat dilakukan secara efektif. Keterbatasan ruang menyulitkan peletakan furniture yang diperlukan di dalam ruangan. secara perhitungan kebutuhan standar ruangan dasar diperlukan minimum 3,19 meter persegi, diperhitungkan dengan standar fixture dan furniture yang diperlukan sebagai ruang jemur basah. Terdapat kekurangan ruang sebesar 1,44 meter persegi atau 45% untuk dapat digunakan secara efektif.



Gambar 20. Simulasi balkon/ruang jemur

Tabel 1. Tingkat efektifitas ruang berdasarkan luas ketersediaan ruang rumah susun

Ruang	Fungsi	Lokasi	Dimensi (M)		Area/Total	Effektifitas	Base
			Length	Widht	Area (m2)	Ruang(%)	
Lobby Tangga	Akses	Lt 1-Lt 5	4	5	20 / 881,8	2,2%	30%
Korridor	Akses	Lt 1-Lt 5	128	1 - 3	235/881,8	26,6%	30%
Ruang terbuka	RTH	Lt 1-Lt 5	4,5	18-20	148,4/881,8	16,82%	20%
Fasilitas umum	Utility	Lt 1-Lt 5	8-12	6	192/250	76,8%	100%
Ruang Parkir	Parkir	Lt 1	9,5	5,2	98/153,66	63,77%	100%
Kantor	Admin	Lt 1	6	4	24/13,06	183,76%	100%
Musholla	Ibadah	Lt 1	4	6	48/-	-	100%
Ruang Wudhu	Sanitasi	Lt 1	2	6	24/-	-	100%
Ruang Serbaguna	Pertemuan ,DII	Lt 1	12	6	72/104,80	68,7%	100%
Ruang Serbaguna	Pertemuan ,DII	Lt 1	8	6	48/104,80	45,8%	100%
Ruang	Fungsi	Lokasi	Dimensi (M)		Area/Total	Effektifitas	Base
			Length	Widht	Area (m2)	Ruang (%)	
Kamar Tidur	Aktivitas	Unit Hunian	2	2,6	5,2 / 10,86	47,8%	30%
Kamar Mandi	Sanitari	Unit Hunian	2	1,8	3,6/3,27	110%	30%
Area Tamu	Interaksi	Unit Hunian	3	2	6/14,07	42,6%	40%
Dapur/Makan	Aktivitas	Unit Hunian	3,1	1,6	4,96/14,07	35,3%	40%
Ruang Jemur	Aktivitas	Unit Hunian	0,87	2	1,75/3,19	55%	100%



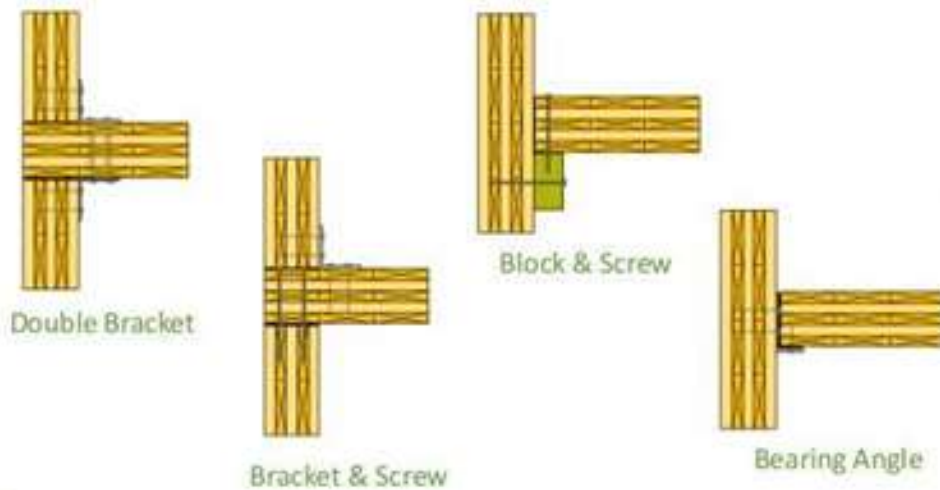
Gambar 21. Simulasi panel CLT dalam perakitan bangunan rusun



Gambar 22. Potongan melintang bangunan rusun menggunakan panel CLT



Gambar 23. Simulasi prafabrikasi CLT pada ruangan tangga rusun



Gambar 24. Gambar potongan braket yang digunakan pada papan CLT dari laman <https://www.tilling.com.au/architects>

1. Dimana struktur baja atau beton menggunakan kolom untuk menunjang berat, CLT menggunakan sistem panel untuk menunjang berat menggunakan panel vertikal;
2. L-brakets digunakan untuk menahan CLT panel horizontal dan vertikal;
3. Jarak diantara panel CLT vertikal bisa lebih jauh dari pada menggunakan balok beton atau baja;
4. Dinding interior bisa ditingkatkan fire ratingnya dengan melapisi dengan panel gypsum di atas panel kayu atau dilapisi dengan *fire retardant chemical*;

5. Beton setebal 5cm menutupi dua 5cm lapisan insulasi digunakan untuk mengurangi kebisingan di antara lantai;
6. Panel CLT adalah prafabrikasi sehingga semua elemen plumbing dan elektrikal telah dipasang dari industri manufakturnya. Pembangunan sederhana memasang semua panel menjadi satu.

Tabel 2. Komparasi sistem konstruksi konvensional beton bertulang dengan panel CLT

Bagian bangunan	Konvensional	Panel CLT
Struktur	Sistem rangka menggunakan kolom dan balok. Kolom dan balok proses pembangunan dipengaruhi faktor cuaca. Tulangan dirakit di site dan membutuhkan mobil pengaduk semen untuk memastikan kualitas struktur.	Sistem panel menggunakan <i>load bearing wall</i> . Kualitas bahan terjamin. Pembangunan struktur tidak memakan waktu dan tidak membutuhkan keahlian khusus pada tukang. Panel CLT dibentuk di satu lokasi sehingga waktu transportasi dan ketersediaan bahan lebih mudah di prediksi.
Pelingkup	Tambahan dinding permanen menggunakan bata ringan membutuhkan waktu pemasangan dan biaya transportasi bahan dari lokasi yang berbeda.	Pelingkup bangunan merupakan kesatuan dengan struktur sehingga pembangunan berjalan paralel. Bukaannya jendela, pintu, sambungan pipa dan kabel bisa dibentuk ketika pembuatan untuk menghemat waktu pembangunan.
Ruang	Area total dikurangi ruang kolom dan balok. Ketebalan kolom dan balok harus diperhitungkan pada luas area ruang yang terbentuk.	Ruang bebas dan dengan bentangan antar dinding yang cukup panjang. Sistem panel bisa disesuaikan dengan kebutuhan dimensi ruang sehingga area dan ruang kepala tidak terpotong oleh struktur.
Finishing	<i>Finishing</i> merupakan tahapan pembangunan yang memakan waktu. Tingkat kualitas sangat tergantung pada keahlian dari pada tukang.	Dilakukan bersamaan dengan proses manufaktur panel CLT. Kualitas <i>finishing</i> sesuai dengan standar mesin dan bahan yang digunakan.

Penggunaan kayu sebagai bahan bangunan memungkinkan bahan dasar yang jauh lebih *sustainable* dalam jangka Panjang apabila dilakukan sesuai dengan regulasi yang ada. Peningkatan penggunaan kayu dapat meningkatkan minat dan pengetahuan masyarakat akan penggunaan panel CLT sebagai bahan bangunan alternatif yang bisa memberikan nilai tambah. Miskonsepsi terhadap ketahanan kayu terhadap cuaca maupun bencana bisa diatasi dengan teknologi pengolahan kayu yang ada.

Papan prafabrikasi digunakan pada bagian dinding, lantai dan juga *core* bangunan. Bagian dinding menggunakan ketebalan berkisar 100 hingga 400 mm tergantung pada penempatan dan kegunaan. Bagian lantai berkisar pada 30 cm dengan adanya sistem *soundproofing* dan insulasi yang dilapiskan pada bahan. Bagian *core* bangunan menggunakan papan prafabrikasi CLT lapis untuk memastikan ketahanan bangunan. Seluruh bahan utama panel CLT dapat

dimanufaktur menggunakan bahan lokal Pulau Jawa.

Penggunaan bahan berbeda membutuhkan pendekatan desain yang berbeda, terbukti dengan pergantian semua bagian dari bangunan menggunakan bahan berdasar kayu. Bahan prafabrikasi kayu mengganti sistem struktur dasar rangka yang biasa digunakan untuk beton bertulang dan baja menjadi sistem struktur panel yang bertumpu pada dinding geser/*load bearing wall*.

Terdapat kelemahan waktu yang dibutuhkan untuk pendesainan bahan dikarenakan diharuskannya seminimal mungkin modifikasi yang boleh dilakukan di lapangan. Adapula transportasi bahan dari manufaktur yang akan bermasalah dikarenakan keterbatasan industri yang mampu menghasilkan produk. Massa hidup bangunan diperkirakan berada di siklus 20 tahun walau berdasarkan data massa hidup bangunan berbahan dasar kayu ada yang bertahan hingga diatas 70 tahun.

Tabel 3. Kelebihan dan kekurangan dari penggunaan panel CLT pada bangunan rusun

Bagian dalam bangunan	Deskripsi	Kelebihan	Kekurangan
Struktur	Fondasi	Fondasi yang digunakan tidak semahal pada struktur beton ataupun baja. Ini dikarenakan beban bangunan yang lebih ringan dikarenakan bahan dasar kayu pada panel CLT. ++Biaya	Terbatas pada fondasi rakit untuk menjaga tingkat kelembapan bahan terhadap tanah. Ketika bangunan lebih dari lima lantai harus dikombinasi dengan bored pile untuk menjaga kestabilan bangunan. -- tipe fondasi -- Fleksibilitas
	Struktur Penunjang Bangunan	Sistem dinding geser (Load Bearing wall) berbahan dasar kayu memiliki tingkat ketahanan tension dan friksi yang lebih tinggi. Ini memungkinkan bangunan lebih tahan terhadap getaran yang terjadi disaat gempa. ++ Ketahanan Struktur terhadap Gempa	Panel CLT berbahan dasar kayu memiliki tingkat ketahanan compression yang lebih rendah dari beton. Ini menyebabkan kebutuhan ketebalan yang lebih tinggi pada bangunan bertingkat. Atau penggunaan sistem struktur kombinasi dengan LVL atau Glulam. -- Tekanan kompresi
	Struktur Lantai Bangunan	Panel CLT lantai di manufaktur di tempat yang sama dengan spesifikasi yang sedikit berbeda. Finishing pada lantai yang dibuat bersamaan dengan manufaktur bahan memotong waktu yang diperlukan untuk finishing bangunan ++ Waktu	Penggunaan solid wood pada panel CLT diperkirakan meningkatkan biaya struktur lantai. -- Biaya Panel CLT yang lebih tipis juga lebih mudah transfer suara antar lantai sehingga lebih baik di tambahkan lapisan insulasi antar lantai -- Polusi suara.
Pelingkup Bangunan	Dinding	Dinding eksterior maupun interior dari panel CLT tiba dalam keadaan siap dipasang ++ Waktu	Dinding yang sudah siap dipasang memberikan sedikit tempat untuk kesalahan pengerjaan. Pengerjaan akan membutuhkan presisi dalam pembangunannya. -- Fleksibilitas.
	Aplikasi Jendela & Pintu	Module jendela dan pintu bisa di pasang bersamaan dengan pengerjaan dinding panel CLT. ++ Waktu pembangunan	Dimensi jendela dan pintu terbatas pada dimensi mesin dan kebutuhan struktur. Jumlah tipe pintu dan jendela juga harus dibatasi untuk menekan biaya pembuatan. -- Fleksibilitas Dimensi dan jenis
Finishing	Dinding	Dinding eksterior maupun interior dari panel CLT tiba dalam keadaan siap dipasang ++ Waktu Penggunaan kayu diperkirakan meningkatkan penyerapan kadar karbon pada udara ++ Lingkungan	Biaya finishing pada dinding berubah tergantung pada ketersediaan bahan dan tipe finishing yang di inginkan. Fleksibilitas tipe finishing sangat mempengaruhi biaya akhir pembangunan - Biaya - Fleksibilitas Jenis Finishing

Kesimpulan

Rumah susun modular menyederhanakan sistem dalam pembangunan rumah susun untuk memastikan tingkat efisiensi dan efektifitas bangunan tidak dipengaruhi oleh lokasi maupun kemampuan dari tukang lokal. Panel prafabrikasi CLT yang bersifat modular menyederhanakan struktur, pelingkup, dan finishing bangunan menjadi satu module. Ini mempercepat waktu pembangunan dan mengurangi kebutuhan akan tenaga tukang ahli. Ini mengecilkan perbedaan tingkat kualitas pekerjaan yang sering dipengaruhi oleh keahlian dari tukang lokal. Pemanfaatan panel prafabrikasi CLT yang memakai sistem dinding geser (*load bearing wall*) mengubah sistem struktur dari sistem rangka menjadi sistem panel. Sistem panel yang dibuat dari kayu ini memiliki tingkat ketahanan terhadap tenaga friksi yang lebih tinggi. Sehingga bangunan lebih tahan terhadap gempa. Penggunaan kayu juga menurunkan beban total dari bangunan sehingga kebutuhan struktur fondasi menjadi lebih ringan. Rumah susun modular yang memanfaatkan panel prafabrikasi CLT meningkatkan kualitas bangunan rusun dan juga mengurangi waktu yang diperlukan untuk mendirikan bangunan. Dampak perusakan terhadap lingkungan tapak juga diperkecil dengan minimnya proses pengerjaan di tapak. Peningkatan ini diikuti oleh biaya bahan *solid wood* yang menyebabkan total biaya pembangunan lebih tinggi. Secara keseluruhan peningkatan aspek bangunan secara waktu, kualitas, dan dampak lingkungan jauh lebih tinggi dan menguntungkan.

Referensi

- Atthailah, Atthailah, and Eri Saputra. 2018. "ESTIMASI PARAMETRIK MATERIAL KONSTRUKSI BETON BERTULANG PADA BANTUAN PASKA BENCANA DI ACEH. (STUDI KASUS: PERHITUNGAN MATERIAL PONDASI)." *LANGKAU BETANG: JURNAL ARSITEKTUR*. <https://doi.org/10.26418/lantang.v5i2.26720>.
- BSN (Badan Standarisasi Nasional). 2005. "RSNI T-03-2005 Perencanaan Struktur Baja Untuk Jembatan," no. 9.

<https://docs.google.com/file/d/0B-pXeGdiQqo2YjA4ODAzMDctZjY0Yy00Zjg0LTgyMzEtZmQ1ZWYwN2Q2MTNh/edit>.

- Holtta-Otto, Katja. 2005. "Modular Product Platform Design." Helsinki University of Technology Finland.
- McCluskey, Alan. 2015. *Materiality and the Modern Cosmopolitan Novel. Materiality and the Modern Cosmopolitan Novel*. <https://doi.org/10.1057/9781137503381>.
- Muthmainnah, Suchyo Sadiyo, and Lina Karlinasari. 2014. "Kekuatan Tekan Tegak Lurus Serat Cross Laminated Timber (CLT) Tiga Jenis Kayu Rakyat." *Jurnal Ilmu Teknologi Kayu Tropis*.
- Report Annual, Modular Building Institutional. 2011. "Permanent Modular Construction 2011 Annual Report."
- Tjondro, Johannes Adhijoso, and Yosafat Aji Pranata. 2010. "Uji Eksperimental Dan Simulasi Numerik Metode Elemen Hingga Pola Fraktur Ragam I Kayu Indonesia." *Dinamika TEKNIK SIPIL*.

