

The Evolution of Prefabrication based Modular Housing: Expectation and Challenge

A. Asrul Sani^{1*}

¹Mahasiswa Program Studi Doktor Ilmu Arsitektur dan Perkotaan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudarto, Tembalang, Kec. Tembalang, Kota Semarang, Jawa Tengah 50275, Indonesia

*Penulis Korespondensi: asrulsani@students.undip.ac.id

Abstract: *The building construction industry is on the verge of a massive transformation of construction practices caused by constant pressure to evolve and adapt to increasing global and urban challenges. The neglect of the vernacular building method in the building production process was first realized by using fairly cheap and abundant concrete and reinforced concrete as a substitute for stone and wood, which are the materials of vernacular structures. The world continues to face housing pressures caused by an insufficient inventory of housing units accessible to local residents. This study aims to explore the history of the development of modular-prefabricated construction with a qualitative-histography approach. This goal can be achieved through a series of processes ranging from reviewing relevant literature, discussing findings, and presenting contemporary research themes. The idea of prefabrication was integrated to reinterpret the contemporary sense of dwelling. However, the lack of a concept of knowledge and an understanding of well-defined prefabrications can hinder the integration of methods and theories on the subject. The results of this study show that there is ambiguity regarding the advantages of prefabricated construction practices that are developing today so it becomes a challenge for construction business actors to provide guarantees to the public of the quality of the promised products.*

Keywords: *construction; housing; prefabrication; modular*

Evolusi Konstruksi Perumahan Berbasis Prefabrikasi-Modular: Harapan dan Tantangan

Abstrak: Industri konstruksi bangunan berada di ambang transformasi besar-besaran dari praktik konstruksi yang disebabkan oleh tekanan terus-menerus untuk berevolusi dan beradaptasi dengan meningkatnya tantangan global dan perkotaan. Pengabaian metode bangunan vernakular di proses produksi bangunan pertama kali diwujudkan dengan menggunakan beton yang cukup murah dan melimpah serta beton bertulang sebagai pengganti batu dan kayu yang merupakan bahan struktur vernakular. Dunia terus menghadapi tekanan perumahan yang disebabkan oleh persediaan yang tidak mencukupi unit perumahan yang dapat diakses oleh penduduk setempat. Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi sejarah perkembangan konstruksi modular-prefabrikasi dengan pendekatan kualitatif-histografi. Tujuan tersebut dapat dicapai melalui serangkaian proses mulai dari tinjauan literatur yang relevan, pembahasan temuan-temuan, dan penyajian tema-tema penelitian kontemporer. Gagasan tentang Prefabrikasi diintegrasikan untuk menafsirkan kembali rasa hunian kontemporer. Namun, kurangnya konsep pengetahuan, pemahaman akan prefabrikasi yang terdefinisi dengan baik dapat menghalangi integrasi metode dan teori pada subjek. Hasil studi ini menunjukkan bahwa ada ambiguitas mengenai keunggulan praktek konstruksi prefabrikasi yang berkembang saat ini, sehingga menjadi sebuah tantangan bagi pelaku usaha konstruksi dalam memberikan jaminan bagi masyarakat akan kualitas produk yang dijanjikan.

Kata Kunci: konstruksi; perumahan; prefabrikasi; modular

Artikel diterima : 23 Mei 2022

Artikel disetujui : 30 Juli 2022

Artikel dipublikasikan : 31 Juli 2022

1. Latar Belakang

Transformasi ekonomi, teknologi, dan budaya masyarakat kita saat ini mempengaruhi berbagai skala kehidupan kita sehari-hari. Di perumahan, transformasi ini mencakup perubahan inti keluarga dan aktivitas yang dilakukan di ruang hidup (De Paris & Lopes, 2018).

Konstruksi Modular belum sesuai untuk semua segmen pasar tetapi telah menunjukkan banyak harapan dalam mengatasi kekurangan kritis solusi perumahan berpenghasilan- rendah. Pertama, metode ini memiliki kemampuan untuk membawa lebih banyak unit ke pasar jauh lebih cepat daripada metode tradisional (Thompson, 2019). Dengan meningkatnya penerimaan publik, terlepas dari tantangannya, konstruksi modular adalah cara konstruksi yang lebih murah, lebih cepat, dan lebih sederhana dengan aplikasi yang luas di banyak kebutuhan-bangunan. Sementara prefabrikasi dan modularitas umumnya dianggap sejalan dengan inovasi teknologi dan material, asal-usul bangunan prefabrikasi tidak melibatkan pabrik atau material yang diproduksi secara-massal.

Prefabrikasi tidak boleh mengesampingkan keterlibatan arsitek dalam hal hilangnya orisinalitas dan kepengarangan yang dihasilkan dari metode konstruksi standarnya. Lebih merupakan tantangan untuk menyoroti betapa pentingnya menciptakan ruang yang dirancang dengan baik yang fungsional dan sesuai dengan permintaan akan tempat-tinggal. Penyesuaian dan peningkatan yang memenuhi kebutuhan pengguna dan menanggapi lingkungan lokalnya harus selalu dipertimbangkan dan dikembangkan untuk memberikan kualitas perumahan yang lebih baik bagi masyarakat (Gunarto et al., 2020). Dengan metode pembangunan saat ini yang dipaksa untuk berubah, pertanyaan mulai muncul tentang seperti apa masa depan konstruksi dan sistem mana yang dapat beradaptasi dengan lingkungan lokal dengan kondisi yang berbeda.

Studi ini bertujuan untuk menyelidiki sistem modular dalam dunia konstruksi dengan meninjau kronologi evolusi perumahan bertingkat rendah. Dengan demikian, kronologi informasi dikembangkan. Hal ini dilakukan melalui tinjauan literatur. Peninjauan akan dilakukan secara kronologis dengan penggunaan periode waktu. Literatur yang dieksplorasi kemudian dianalisis. Bagian berikutnya disajikan untuk membantu dalam memahami topik penelitian.

Pada bagian berikut, literatur sejarah konstruksi ditinjau dan sejarah konstruksi sebagai bidang dibahas. Ini diikuti dengan penjelasan tentang metodologi tinjauan pustaka. Tinjauan literatur dibagi menjadi beberapa bagian berikut: asal-usul perumahan prefabrikasi (1200s-1600); perumahan prefabrikasi di zaman kolonialisme hingga Abad ke-19; Perumahan pada Revolusi Industri dan Perang Dunia; Perumahan Perang Dunia II dan Pascaperang; perumahan prefabrikasi dari tahun 1990-an hingga saat ini. "Perumahan prefabrikasi – Melangkah ke Depan" melihat kemungkinan perumahan prefabrikasi di masa depan. Pembahasan menganalisis temuan-temuan tinjauan dan kronologi, hal ini diikuti dengan kesimpulan termasuk rekomendasi untuk penelitian lanjutan.

2. Metode

Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi sejarah perkembangan konstruksi prefabrikasi-modular dengan pendekatan kualitatif-histografi.

Sebuah pencarian yang luas untuk literatur dilakukan dari jurnal dan publikasi, konferensi. Literatur yang ditinjau meliputi makalah jurnal, makalah konferensi, laporan teknis, laporan survei, buku dan literatur pendidikan. Literatur yang ditelaah terdiri dari dokumen-dokumen yang memiliki metodologi penelitian dan analisis dokumenter. Sumber kepustakaan dapat dilihat pada referensi. Literatur apa pun yang relevan disertakan dalam penelitian ini. Semua dokumen ditulis oleh penulis profesional dari berbagai disiplin ilmu.

Setelah data terkumpul kemudian dilakukan proses eksplorasi dan evaluasi agar relevan dengan tujuan penelitian. Langkah selanjutnya adalah analisis data/literatur melalui tahap periodisasi, dan terakhir tahap verifikasi dan penarikan kesimpulan.

3. Kajian Teori

3.1. Sejarah konstruksi

Secara keseluruhan, ada banyak literatur yang ada tentang perumahan prefabrikasi, dengan beberapa abad terakhir yang lebih banyak diteliti. Perumahan prefabrikasi secara signifikan dibantu oleh inovasi, revolusi Industri dan perang; khususnya, dengan dorongan inovasi teknologi selama Revolusi Industri dan tarikan permintaan perumahan selama dan setelah kedua perang dunia. Ada masalah dengan pelaksanaan program pembangunan skala besar, dan kata "prefabrikasi" telah mendapat stigma negatif. Dalam waktu dekat, permintaan akan perumahan dan kebutuhan akan efisiensi dan keberlanjutan dapat menjadi perkembangan selanjutnya di bidang prefabrikasi dengan identitas barunya: Modern Methods of Construction (MMC).

Sejarah konstruksi adalah gerakan yang bertentangan dengan disiplin (Meyer dan Hassler, 2009). Bentuk penelitian ini dapat berfokus pada berbagai elemen bangunan di seluruh rentang geografis dan waktu yang luas. Ini dapat fokus pada teknologi, prosedur, teori dan proses konstruksi, konteks, struktur, dan kondisi produksi yang terkait dengan bangunan; semua diidentifikasi sangat penting (Meyer dan Hassler, 2009). Penelitian sejarah konstruksi saat ini lebih substansial dibandingkan dekade-dekade sebelumnya. Peningkatan dalam dekade terakhir dibandingkan dengan dekade sebelumnya dapat diidentifikasi dengan membandingkan Picon (2005/2006) dan Dunkeld (1987). Namun, Holt (2015) masih mengidentifikasinya sebagai penelitian yang kurang.

3.2. Mendefinisikan dan Mengkategorikan Prefabrikasi-Modularitas

Prefabrikasi dan modularitas telah dipahami dan ditafsirkan dengan cara yang berbeda. Pada tahun-tahun setelah Perang Dunia Kedua ada masalah mengenai definisi prefabrikasi, apakah itu rumah yang dapat dikirim dalam bentuk potongan dan dirakit, atau apakah perlu dibangun seluruhnya dipabrik.

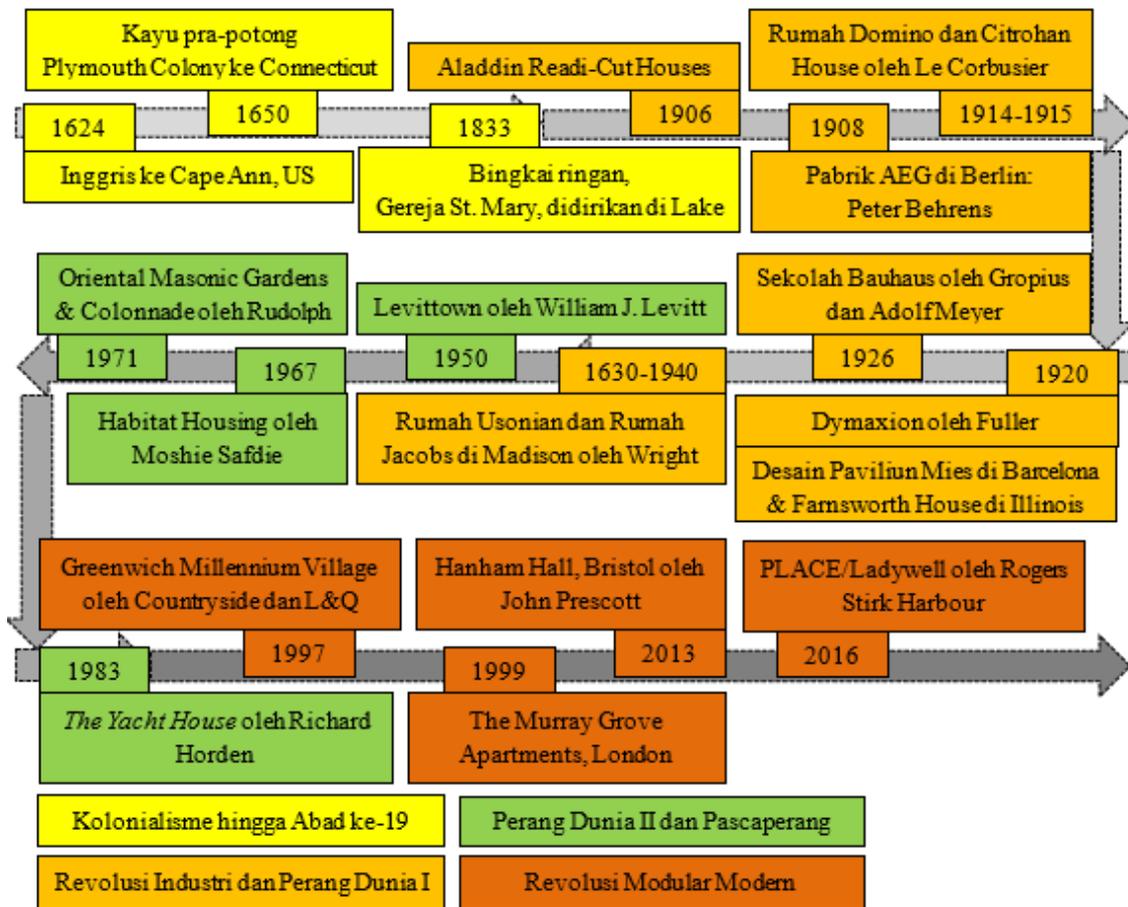
Piroozfar dan Farr (2013) memberikan wawasan tentang berbagai konsep, istilah, dan definisi yang dikaitkan dengan metode konstruksi non tradisional. Mereka membahas produksi massal, industrialisasi, sistem bangunan industri, modularisasi, prefabrikasi, manufaktur di luar lokasi sebagai konsep individu (Piroozfar dan Farr, 2013). Bangunan selalu dikaitkan dengan prefabrikasi (Piroozfar dan Farr, 2013), dengan komponen prefabrikasi dimasukkan ke dalam konstruksi tradisional (Hayes, 1999). Piroozfar dan Farr (2013) menyimpulkan bahwa konsep harus diketahui dan dipahami secara holistik. Untuk penelitian ini, menarik garis antara konsep dan mengkategorikan berdasarkan konsep dinilai tidak praktis dan kabur, dan tidak akan dilakukan dalam penelitian ini.

3.3. Asal-Usul Perumahan Prefabrikasi

Agren dan Wing (2014) mengidentifikasi momen-momen dalam sejarah bangunan industri, menggambarkan bangunan modular dan prefabrikasi, tetapi asal usul perumahan prefabrikasi di Inggris tidak diulas. University of the West of England (UWE) (2014), dalam tinjauan singkat dan menyeluruh, menjelaskan perubahan arsitektur dan bangunan untuk perumahan antara periode Georgia dan era pasca perang. Namun, dari sini, mungkin dianggap perumahan prefabrikasi yang dikembangkan di Inggris pasca industri, atau lebih khusus setelah Perang Dunia Kedua.

Prefabrikasi dan modularitas telah membuat langkah baru sebagai arsitek dan pengembang menemukan aplikasi baru untuk teknologi di luar rumah keluarga tunggal. Asosiasi modularitas dengan perumahan trailer telah menyebabkan persepsi publik sebagai tidak sedap dipandang dan tidak stabil, kesulitan mengoordinasikan sistem pengiriman dan personel telah membuat proses konstruksi baru menantang di daerah perkotaan yang padat, dan kurangnya integrasi ke dalam proses desain telah memastikan pengecualiannya dari banyak proyek. Dengan munculnya teknologi baru seperti perangkat lunak Building Information Modeling (BIM), sekarang lebih mudah untuk mengintegrasikan komponen modular, sistem pengiriman, dan personel.

Adapun periodisasi sejarah perkembangan prefabrikasi dan modularitas dapat dilihat pada diagram berikut ini.



Gambar 1. Diagram Periodisasi Sejarah Perkembangan Prefabrikasi dan Modularitas

3.4. Kolonialisme hingga Abad ke-19

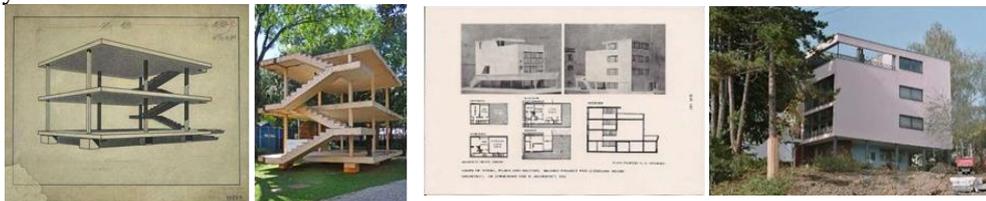
Konstruksi prefabrikasi dimulai pada tahun 1624 ketika sebuah rumah yang dibongkar dan dikirim dari Inggris ke Cape Ann, Massachusetts untuk menampung armada penangkap ikan menggunakan teknik bangunan Inggris yang sudah jadi dan tepercaya, yang akrab bagi para pemukim yang baru tiba di Amerika pada tahun 1620 (Marquit, 2013). Dua puluh lima tahun kemudian, sekitar tahun 1650, pengiriman kayu pra-potong untuk sebuah rumah dari Plymouth Colony ke Connecticut selatan memudahkan penyelesaian lahan baru dengan menyediakan tempat berlindung langsung sehingga tidak memerlukan pengumpulan dan pemasangan kayu di lokasi.

Pada tahun 1833, Chicago melihat bangunan "bingkai ringan" pertama pada Gereja St. Mary, didirikan di Lake Street (Marquit, 2013). Dikreditkan ke, secara bergantian, seorang pria bernama George W. Snow dan seorang tukang kayu bernama Augustine Deodat Taylor, inovasi bingkai ringan melibatkan penggunaan kancing kayu ramping dan seragam yang disatukan dengan paku yang baru diproduksi secara massal, bukan dengan sambungan kayu yang lebih rumit.

3.5. Revolusi Industri dan Perang Dunia I

Revolusi industri Inggris, yang dimulai pada pertengahan abad ke-18, juga meluas ke Amerika, mengantarkan produksi pabrik yang ditenagai oleh mesin-mesin baru (Marquit, 2013). Perusahaan kemudian mulai menawarkan rumah melalui katalog untuk dirakit oleh klien di lokasi. Sementara Aladdin Read-Cut Houses, perusahaan pertama yang menawarkan rumah prefabrikasi di pasar pada tahun 1906, rumah dipesan melalui pos Sears, Roebuck & Co. membuktikan contoh yang paling terkenal, hampir 450 tipe rumah Sears yang berbeda telah diidentifikasi. Peter Behrens merancang Pabrik AEG di Berlin pada tahun 1908. Bangunan berbingkai baja sepanjang 100m dengan jendela kaca setinggi 15m di kedua sisinya dianggap sebagai upaya pertama untuk memperkenalkan desain modern yang terkendali ke industri arsitektur.

Pada awal abad ke-20, para arsitek dan insinyur bergulat dengan pertanyaan tentang bagaimana menampung populasi yang berkembang pesat secara efisien dan sederhana. Pada awal Perang Dunia I, Rumah Domino modernis dan Citrohan House yang terkenal karya Le Corbusier tahun 1914 mengusulkan struktur beton bertulang sederhana yang didukung oleh balok ramping. Struktur yang murah dan mudah direproduksi, proyek konsep perumahan dieksplorasi secara sederhana, meskipun tidak pernah dibangun. Meskipun tidak ada bangunan Le Corbusier yang dibangun menggunakan metode prefabrikasi, idenya tentang penggunaan industri manufaktur dikenal luas oleh arsitek pada masanya.



Gambar 2. (a) Penggambaran Maison Domino oleh Le Corbusier tahun 1914-1915; (b) Prototype Rumah Domino dibangun untuk Venice Biennale of Architecture 2014; (c, d) Citrohan House

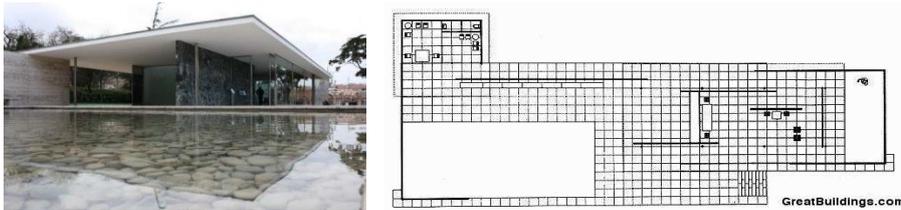
Sumber: Pinterest, 2021

Sekolah Bauhaus oleh Gropius dan Adolf Meyer tahun 1926 menggunakan teknik-teknik dan material-material yang dipakai secara spesifik untuk pemakaian pabrik dan pabrikasi massal, seperti beton, baja, krom, dan kaca, serta yang lainnya. Gropius menciptakan arsitektur yang mengekspresikan fungsi absolut. Pada tahun 1920 Fuller ingin membangun tempat tinggal keluarga tunggal otonom yang berkelanjutan. Meskipun tidak pernah dibuat, desain Dymaxion menampilkan inovasi yang berpikiran maju dan berpengaruh dalam industri prefabrikasi dan keberlanjutan. Rumah itu tidak hanya akan menjadi teladan dalam swasembadanya, tetapi juga dapat diproduksi secara massal, mudah dikemas dan dikirim ke seluruh dunia.



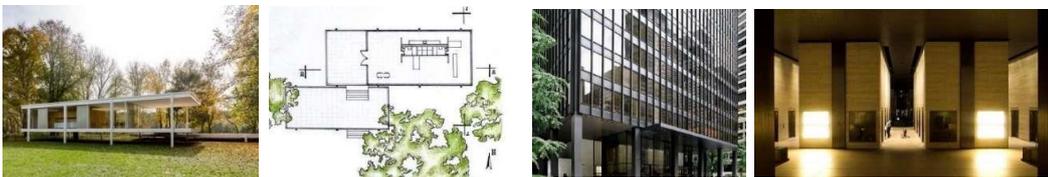
Gambar 3. (a) Bauhaus; (b) Dymaxion house
 Sumber: Archdaily, 2021

Mies van der Rohe juga tertarik pada bangunan industri sebagai sarana desain. Kontribusi Mies untuk prefabrikasi tidak dalam pengembangan teknologi baru untuk produksi, sistem panel, atau modul, tetapi lebih kepada pengarusutamaan estetika modern dalam penerimaan masyarakat terhadap menara baja dan kaca. Disadari atau tidak, pengaruh Mies terhadap pemahaman dan ekspresi arsitektur, khususnya di bidang prefabrikasi, akan berdampak panjang di masa depan. Desain Paviliun Mies di Barcelona didasarkan pada formula sistem grid yang dikembangkan oleh Mies yang tidak hanya berfungsi sebagai pola pavers travertine, tetapi juga berfungsi sebagai kerangka kerja yang mendasari kerja sistem dinding di dalamnya.



Gambar 4. Paviliun Mies di Barcelona.
 Sumber: Archdaily, 2021

Farnsworth House di Illinois karya Mies adalah Rumah satu lantai terdiri dari delapan kolom baja berbentuk I yang menopang kerangka atap dan lantai, dan karenanya bersifat struktural dan ekspresif.



Gambar 5. Farnsworth House di Illinois; Seagram Building New York
 Sumber: Archdaily, 2021

Pada tahun 1932, Wright berbicara tentang apa yang disebutnya "rumah rakitan"(Smith, 2010.) Rumah-rumah ini harus terdiri dari unit-unit standar yang menjadi blok bangunan spasial yang akan mendefinisikan berbagai ruangan. Wright sangat skeptis terhadap prefabrikasi karena dia merasa itu tidak memiliki sentuhan kualitas, dan itu mempertanyakan produktivitas desainer.

Keberhasilan terbesar Wright dalam mewujudkan keterjangkauan adalah rumah-rumah Usonian pada akhir 1930-an dan awal 1940-an, rumah Jacobs di Madison, Wisconsin, adalah contohnya. Rumah ini tidak menggunakan salah satu metode prefabrikasi yang awalnya dibicarakan Wright pada tahun 1932, tetapi ditujukan untuk keterjangkauan dan dirancang berdasarkan logika konstruksi. Rumah itu kecil, tetapi sangat detail. Sebuah grid biasa dan bahan standar memiliki potensi besar untuk prefabrikasi.

3.6. Perumahan Perang Dunia II dan Pascaperang

Selama Perang Dunia II, konstruksi lembaran logam prefabrikasi digunakan secara luas dalam bentuk barak militer dan trailer bergerak. Modularitas dan prefabrikasi tidak sepenuhnya diabaikan atau dikritik setelah perang, ledakan pinggiran kota sangat bergantung pada standar desain perumahan dan ekonomis.

Levittown, mungkin contoh paling terkenal dari pinggiran kota pascaperang Amerika, berkembang pesat dalam meniru rumah demi rumah. William J. Levitt, nama kota itu, bahkan menghiasi sampul majalah Time pada tanggal 3 Juni 1950. Produksinya sangat efisien sehingga Time melaporkan sebuah rumah berdiri setiap lima belas menit. Tetapi rumah pinggiran kota, meskipun sering mengandalkan teknik prefabrikasi, tidak menjadi simbol dari konsep perumahan modular atau manufaktur. Selama 1950-an dan 1960-an, penolakan publik terhadap estetika "trailer" bersama dengan praktik legislatif kompleks yang melarang jenis perumahan dari daerah tertentu.



Gambar 6. Habitat 67 Moshe Safdie
Sumber: Archdaily, 2021

Moshie Safdie, di World Expo Habitat Housing yang sama, merancang proyek pembangunan pertamanya pada tahun 1967. Seratus lima puluh delapan rumah dibangun dari 354 unit modular. Ada 18 jenis modul dalam beton pracetak bertulang yang diproduksi di luar lokasi. Modul ditumpuk satu sama lain dan rongga di antara mereka membentuk taman dan dek luar. Konsep plug and play ini tidaklah ekonomis dan pada kenyataannya, jauh melebihi anggaran. Safdie meninggalkan mimpinya tentang prefabrikasi di perumahan massal, menyebut eksperimennya gagal, dan pada saat itu mengklaim bahwa prefabrikasi dalam

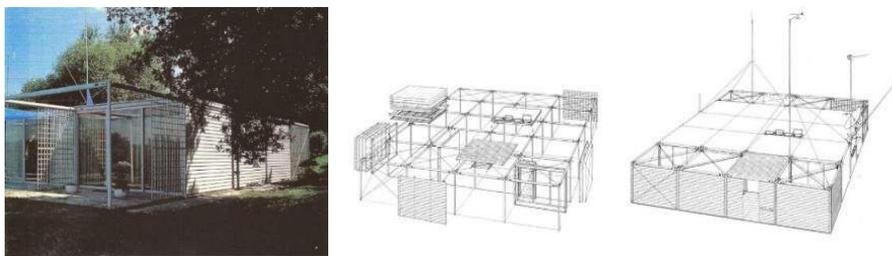
arsitektur mustahil diwujudkan. Moshe Safdie termasuk Arsitek yang dikenal "memiliki tanggung jawab sosial yang dalam".

Rudolph merealisasikan proyek perumahan modular dalam pembangunan yang disebut Oriental Masonic Gardens di New Haven, Connecticut pada tahun 1971. Teknologinya tentu saja tidak inovatif, tetapi proyek tersebut menggunakan tipologi "rumah mobil" dalam konsep pengembangan multikeluarga yang merupakan interpretasi ulang dari bangunan vernakular. Awalnya Rudolph bermaksud untuk merancang struktur perumahan sebagai satu set unit prefabrikasi yang diangkat ke bingkai struktural. Ide dan kerumitan visual dari Colonnade Condominiums Paul Rudolph adalah pengembangan dari Pusat Seni Grafis Manhattan yang dirancang sebelumnya tetapi belum dibangun. Rudolph menyebut unit-unit yang dapat direplikasi ini sebagai "batu bata abad kedua puluh", sebuah sarana konstruksi yang tampaknya membuat konstruksi bangunan skala besar lebih layak. Namun, ketika Rudolph mengetahui saat konstruksi, alasan teknis dan keuangan menghilangkan kemungkinan unit prefabrikasi.



Gambar 7. (a, b) Oriental Masonic Gardens; (c, d) Colonnade Singapura
Sumber: Archdaily, 2021

The Yacht House oleh Richard Horden tahun 1983 adalah sebuah struktur bangunan diatur dalam kolom pada bentang 3,7m. Rumah ini berbentuk bujur sangkar sempurna yang terdiri dari grid 5 x 5 dengan luas 342-meter persegi. Pintu masuk terletak di poros dan grid tengah. Modul atap dan kelongsong dapat dipindahkan untuk mengatur ulang denah dan menambah kapasitas ruang sesuai kebutuhan pemilik.



Gambar 8. The Yacht House
(Sumber: Hiddenarchitecture.com, 2021)

3.6. Asal Mula Revolusi Modular Modern

Menjelang akhir abad ke-20, diakui bahwa adanya kelemahan dalam industri konstruksi Inggris, dan komisi dibentuk untuk menyelidiki masalah dan mengidentifikasi solusi potensial. Laporan Sir Michael Latham tahun 1994

“Constructing the Team” (Byliss, 2020) menyarankan kontrak dan pengadaan yang lebih baik dan kemudian “Rethinking Construction” tahun 1998 oleh Sir John Egan menyarankan cara-cara untuk meningkatkan kualitas dan efisiensi konstruksi di Inggris.



Gambar 9. Greenwich Millennium Village, HTA Design LLP, London Borough of Greenwich, 2018 (Sumber: Alamy.com, 2021)

Optimisme Pemerintahan Buruh yang baru pada tahun 1997 bertujuan untuk melakukan yang lebih baik untuk perumahan dan memulai kompetisi untuk Greenwich Millennium Village, dimenangkan oleh Countryside dan L&Q hingga desain oleh HTA dengan Ralph Erskine. Usulannya adalah menciptakan perumahan yang lebih fleksibel dan mudah beradaptasi untuk memenuhi perubahan kebutuhan masyarakat dari waktu ke waktu, dibangun menggunakan metode konstruksi modern yang canggih.

Murray Grove memberikan beberapa indikasi bahwa konstruksi secara umum, dan pengiriman perumahan pada khususnya, mungkin berada di titik puncak perubahan positif (byliss, 2020). Dibangun untuk Peabody Trust, skema tersebut berupaya mengatasi permasalahan yang terus-menerus dengan mutu konstruksi yang kurang baik serta kelebihan program di segala program pengembangan mereka. Proyek ini menyediakan 30 rumah, 5 lantai untuk “pekerja kunci”, suatu bentuk kepemilikan yang diperkenalkan untuk menyediakan perumahan bagi pekerja seperti guru, perawat atau petugas pemadam kebakaran, yang meskipun seringkali dengan gaji yang cukup sederhana, harus tetap tinggal di kota untuk memastikan kota itu terus berfungsi secara efektif. Proyek tersebut selesai hanya dalam waktu konstruksi selama enam bulan. Proyek ini memenuhi harapan dan hampir menghilangkan cacat dan diselesaikan sesuai rencana. Penggambaran setiap modul cukup jelas diekspresikan dalam sistem fasad papan terakota yang selanjutnya mencerminkan mode konstruksi.



Gambar 10. The Murray Grove Apartments Hackney London
Sumber: Modernarchitecturelondon.com, 2021

Tantangan untuk mengurangi biaya, sambil bertujuan untuk mendorong investasi dalam biaya yang mahal, Carbon Challenge, diluncurkan oleh John Prescott pada 2008, yang menetapkan kriteria yang lebih jelas dan agak lebih menantang untuk memenuhi standar lingkungan tertinggi termasuk nol karbon. Meskipun sekali lagi dikonfigurasi sebagai program pelepasan nilai tanah di mana pengembang akan membangun campuran perumahan untuk dijual dan disewakan, nilai tanah secara efektif membayar harga untuk inovasi dalam konstruksi dan lebih tinggi dari standar biasa. Program ini merupakan korban dari krisis keuangan tahun 2008 tetapi lokasi pertama di Hanham Hall, di pinggiran kota Bristol, selesai pada tahun 2013 dan tetap menjadi salah satu komunitas nol karbon terbesar di Inggris. Hanham Hall masih merupakan penunjuk jalan ke depan untuk perumahan nol karbon bertingkat rendah. Padat, hijau tetapi sangat layak huni, itu menunjukkan bagaimana pembangun rumah dapat mengubah tempat mereka jika mereka mau melakukannya.



Gambar 11. Hanham Hall, Bristol

Sumber: www.hta.co.uk,2021

PLACE/Ladywell adalah skema 24 rumah sementara yang dirancang oleh Rogers Stirk Harbour + Partners dan dibangun oleh SIG untuk Dewan Lewisham di lokasi kosong di Ladywell. Dengan meningkatnya jumlah keluarga di perumahan sementara berkualitas buruk, ini memberikan jalan menuju akomodasi berkualitas lebih baik untuk mengakses perumahan yang lebih permanen.

Ada 3 tujuan pokok yang hendak dicapai, pertama, menyediakan 24 rumah bagi keluarga tunawisma yang tinggal di akomodasi sementara dengan kualitas buruk. Kedua, menciptakan ruang komersial komunitas di lantai dasar. Ketiga, untuk mengisi lokasi di jalan raya yang dibiarkan kosong setelah pembongkaran Ladywell Leisure Center dan bertindak sebagai katalis untuk regenerasi di masa depan (Byliss,2020). PLACE/Ladywell memanfaatkan teknik konstruksi volumetrik yang diproduksi pabrik untuk membangun perumahan berkualitas tinggi untuk Dewan Lewisham dengan program relatif singkat dan untuk mengurangi biaya konstruksi.



Gambar 12. PLACE/Ladywell, London

Sumber: Pinterest, 2021

Keraguan dari masyarakat terkait dengan inovasi dalam industri konstruksi, di mana perumahan menyimpang dari penampilan tradisional telah dikaitkan dengan asosiasi negatif dengan perumahan prefabrikasi pasca Perang Dunia Kedua (Edge et al., 2003). Sikap negatif ini secara luas didasarkan pada kualitas bahan bangunan dan pengerjaan yang buruk dari bentuk konstruksi ini (Parliamentary Office of Science and Technology, 2003) selama periode pasca Perang Dunia Ke-2.

Istilah "MMC" dijelaskan dalam literatur dengan mengacu pada berbagai metode konstruksi (Marshall et al., 2013; Kempton dan Syms, 2009). Ini adalah istilah yang menggabungkan berbagai metode konstruksi off dan on site (Danby and Painting, 2007), yang pertama kali diterapkan di Inggris (Steinhart et al., 2013). Meskipun mengacu pada metode konstruksi yang berbeda dari konstruksi tradisional (misalnya dinding bata/blok) (Kempton dan Syms, 2009), ini juga disebut sebagai konstruksi non tradisional, modular, pembuatan di luar lokasi dan konstruksi prefabrikasi (Kempton dan Syms, 2009). Tujuan industri menggunakan istilah MMC adalah untuk mencerminkan perbaikan teknis prefabrikasi, dan untuk menggabungkan metode konstruksi di dalam dan di luar lokasi (Parliamentary Office of Science and Technology 2003).

Adopsi MMC atau perumahan modular di antara pembangun rumah diakui lambat (Rahman, 2014; Pan et al., 2008), meskipun diprediksi meningkat mengingat tekanan pada industri "untuk meningkatkan kualitas, waktu, biaya, produktivitas, kesehatan dan keselamatan" (Pan et al., 2008). MMC dianggap mampu mencapai standar bangunan yang lebih tinggi, dan dengan demikian memberikan kinerja bangunan yang lebih tinggi (Piroozfar et al., 2012). Rata-rata, bangunan modular telah terbukti memberikan kinerja siklus hidup yang lebih baik, misalnya kinerja energi bangunan (Kamali & Hewage, 2016). MMC telah dianggap memiliki kemampuan untuk menyediakan konstruksi yang terjangkau dan efisien (Lovell dan Smith, 2010). Inefisiensi material dalam desain, pemutusan dengan penggunaan operasional nyata dan kurangnya daya tahan cenderung meningkat dengan kecepatan konstruksi yang tinggi (Bras et al., 2020). Peningkatan kinerja dibandingkan dengan konstruksi pasangan bata tradisional, bagaimanapun, sulit untuk dievaluasi (Piroozfar et al., 2012). Selanjutnya, ada beberapa perdebatan mengenai apakah MMC menyediakan metode konstruksi "ramah lingkungan" (Piroozfar et al., 2012), yang diperlukan dalam menghadapi dorongan saat ini untuk perumahan rendah karbon. Dalam semua fase siklus hidup bangunan, bahan dan energi digunakan, seperti ekstraksi dan pemrosesan bahan mentah, pembuatan produk dan komponen, pengangkutan produk dan komponen, dan energi yang digunakan untuk pemanasan, pendinginan, dan penerangan bangunan (Kamali et al., 2019). Langkah-langkah minimalisasi limbah yang diterapkan di lokasi dan prinsip penggunaan material dengan energi rendah dapat dipahami sebagai dasar konseptual untuk menemukan solusi yang lebih efisien dalam praktik konservasi material dan energi saat ini (Tomovska & Radivojević, 2017).

Bangunan adalah konsumen besar energi dan material, dan penghasil limbah dan emisi yang penting. Prefabrikasi memberikan peluang untuk mengurangi

dampak di sektor bangunan, dampak-dampak yang telah dihitung menunjukkan bahwa produksi material adalah fase yang paling penting (64-90% EE dan 59-87% GRK) dan bahwa struktur dengan rangka LSF atau kayu memiliki dampak paling rendah, sedangkan baja dan beton paling tinggi (Tavares et al., 2019). Rahman (2014) juga mengidentifikasi hambatan seperti masalah terkait biaya, keterampilan dan pengalaman, motivasi dan budaya, standar desain, permintaan pasar, masalah terkait industri, fleksibilitas, dan masalah khusus proyek seperti keterbatasan ruang di lokasi. Penerapan modul pada lapisan bangunan tertentu dan sambungan yang dapat dipisahkan dengan penggunaan lebih lanjut dari operasi divisi-subdivisi adalah strategi desain yang memberikan fleksibilitas-(Arisya & Suryantini, 2021).

Sebuah temuan yang menyoroti bagaimana kemampuan untuk memodifikasi tempat tinggal adalah fitur mendasar bagi keluarga yang sedang tumbuh, sejumlah keuntungan lain dalam fleksibilitas ditemukan dalam pembuatan modular di luar lokasi-(Phillips et al., 2016). Memprioritaskan prefabrikasi dan modularitas dalam proses desain arsitektur memiliki kelebihan, seperti area pengurangan tapak yang sangat efektif, infrastruktur skala besar untuk penggunaan yang fleksibel, dan unit perumahan individu dengan aktivitas komunal, selain itu, memastikan kondisi bangunan untuk pembongkaran dan daur ulang di masa mendatang-(Silva, 2020). Prinsip-prinsip konstruksi modular, termasuk waktu disoroti oleh peneliti lain. Pembangunan Rumah Sakit Leishenshan sebagai contoh untuk menggambarkan bagaimana mengadopsi teknologi BIM dan teknologi berteknologi tinggi untuk pembangunan cepat sistem struktur baja fabrikasi dalam keadaan darurat-(Chen et al., 2021). Dengan penggunaan unit dan komponen modular, ketahanan dan ketersediaan material, dan sistem konfigurasi "plug and play". Melalui strategi tersebut, prototipe menunjukkan kemampuan untuk tampil sebagai solusi permanen untuk diimplementasikan dalam waktu singkat-(Yatmo et al., 2021).

Seperti yang dilihat oleh Lovell dan Smith (2010), meskipun ada banyak perbedaan tentang apakah biaya perumahan prefabrikasi lebih atau kurang daripada bentuk konstruksi tradisional, semakin banyak bukti menunjukkan bahwa biaya prefabrikasi sekitar 10 persen lebih tinggi daripada konstruksi tradisional pada awalnya. Gibb (2001) menyarankan bahwa, ketika mempertimbangkan komponen prefabrikasi, unit sering dianggap lebih mahal jika memperhitungkan biaya pengaturan pabrik dan biaya overhead. Namun, di mana jumlah unit yang diproduksi meningkat, biaya unit menurun secara signifikan (Gibb, 2001). Ketika menilai biaya berdasarkan penilaian siklus hidup dari dua properti studi kasus, Monahan dan Powell (2011) menunjukkan bahwa, properti MMC dapat menghasilkan pengurangan emisi karbon sebesar 34 persen dibandingkan metode konstruksi konvensional. Aspek lain yang dibahas dalam peneliti terkait konstruksi modular adalah evaluasi pasca huni (Safitri, 2019); (J.M. Lee et al., 2014); (G.K. Lee & Lim, 2011).

3.7. Perumahan Prefabrikasi di Masa depan

Prefabrikasi dalam bentuk "MMCs" telah diterapkan untuk mencapai kinerja

hemat energi yang tinggi di perumahan baru (Ross, 2005). Keuntungan konstruksi MMC telah diidentifikasi sebagai peningkatan kualitas; peningkatan kinerja termal dan efisiensi energi; peningkatan kinerja akustik, termal dan efisiensi energi; dan pengurangan hambatan dan cacat pasca konstruksi (Kempton dan Syms, 2009). Selain itu, pengurangan limbah, cacat, waktu, biaya, risiko kesehatan dan keselamatan, dampak lingkungan di samping peningkatan keuntungan, prediktabilitas, dan kinerja kehidupan telah ditekankan oleh Rahman (2014). Namun, peningkatan kinerja hidup telah ditunjukkan oleh Kempton dan Syms (2009) sebagai masalah potensial di perumahan sosial dalam kaitannya dengan umur panjang produk dan dampak yang dihasilkan pada penyewa.

Dalam penelitian internasional, Linner dan Bock (2012) menggambarkan Eropa berada di belakang Jepang dalam industrialisasi perumahan prefabrikasi. Perumahan prefabrikasi Inggris memiliki celah yang signifikan untuk ditutup jika ingin mencapai kapasitas produksi dan reputasi baik seperti perumahan prefabrikasi Jepang. Juga terbukti bahwa prefabrikasi Jepang mendapat manfaat dari praktik lean production (Linner dan Bock, 2012); dengan lean menjadi topik utama industri konstruksi Inggris dalam beberapa tahun terakhir dengan publikasi teknis dan akademis, kemungkinan lean dan prefabrikasi akan terjalin di masa depan karena sifat prefabrikasi, dan permintaan perumahan. Seiring perkembangan teknologi seperti pencetakan tiga dimensi yang terus berlanjut, penerapannya pada konstruksi telah dimulai, dari model arsitektural (Dimitrov et al., 2006) hingga komponen yang lebih besar, dan bahkan struktur (Buswell et al., 2007).

3.8. Perumahan Prefabrikasi di Masa depan

Perlu dicatat bahwa prefabrikasi telah dicap "baru" berkali-kali. Menurut Schneider dan Till (2007) ada kepercayaan yang dimulai pada 1930-an dan 1940-an yang berlanjut hingga hari ini bahwa prefabrikasi dan teknologi yang muncul mampu menyediakan perumahan massal. Hashemi (2013) membandingkan antusiasme modern dengan perumahan prefabrikasi dengan abad kedua puluh dan menunjukkan sejarah berulang dengan pendukung prefabrikasi mengklaim keuntungan yang mirip dengan masa lalu.

4. Diskusi

Prefabrikasi sering dikaitkan dengan kayu. Penggunaan kayu untuk membuat rumah prefabrikasi pada abad kedua belas menarik para pelau industri konstruksi. Dalam literatur yang diulas hanya sedikit ditemukan yang mencakup periode antara 1624 dan 1800. Perkembangan perumahan prefabrikasi antara 1800 dan 1918 cukup menarik perhatian. Dengan teknologi dan pengembangan sistem, semakin dekat dengan pabrikasi standar dan industri yang dilihat sekarang. Penggunaan besi bergelombang didokumentasikan dengan baik.

Literatur akademis dan abu-abu, yang mendokumentasikan evolusi

perumahan prefabrikasi antara perang dunia sangat penting. BRE (Building Research Establishment) memiliki literatur yang signifikan tentang hal ini. Impor perumahan dan teknologi menarik pada periode ini. Permintaan untuk perumahan terpetakan dengan baik. Pada periode inilah kegagalan untuk memberikan perumahan menyebabkan protes terhadap perumahan sosial, dan akhirnya stigmatisasi negatif. Ada juga keberatan dengan estetika perumahan tersebut. Ini adalah topik yang signifikan untuk penelitian, lebih untuk sejarah arsitektur daripada sejarah konstruksi. Topik perumahan tradisional vs rumah prefabrikasi adalah topik yang dibicarakan hari ini. Mengingat ketidakjelasan "tradisional", mengingat apa yang diulas, makna apa yang dianggap tradisional menjadi topik pembahasan lebih lanjut. Umur "perumahan sementara" juga tidak boleh hanya dikategorikan sebagai konstruksi yang buruk.

Ada inovasi yang signifikan dalam memberikan rumah, terlepas dari faktor lainnya. Secara keseluruhan, pengiriman perumahan antara perang didokumentasikan dengan baik oleh BRE, organisasi lain, dan akademisi. Periode inilah yang menunjukkan kompleksitas topik.

Memberikan perumahan setelah Perang Dunia Kedua sulit direalisasikan, dan ini didokumentasikan cukup lengkap. Perumahan prefabrikasi dianggap lebih rendah dari "tradisional" dan estetika perumahan prefabrikasi dikritik. Skeptisisme terhadap perumahan non tradisional tumbuh dan masih mempengaruhi pemikiran masyarakat. Dari tahun 1960-an dan seterusnya, prefabrikasi menjadi lebih terindustrialisasi, dan sistem volumetrik digunakan. Inggris memiliki pengalaman yang signifikan dalam perumahan prefabrikasi pada tahap ini dan sistem Inggris digunakan di Irlandia. Literatur di sini cukup mendalam, dan perumahan yang dibangun pada periode ini sekarang menjadi topik laporan retrofit perumahan. Selama periode ini, penulis merasa, definisi perumahan prefabrikasi, dengan kata lain seperti "modular" dan "volumetrik" menjadi dipertukarkan. Ini akan menjadi topik perdebatan yang mirip dengan topik "tradisional" dan "non tradisional".

MMC bukanlah metode yang sepenuhnya baru untuk menyediakan perumahan massal. Seperti sebelumnya, dengan permintaan masa perang, metode ini akan digunakan untuk memberikan perumahan yang terjangkau. Ada banyak literatur yang diproduksi yang mencakup metode-metode tersebut. Perumahan prefabrikasi dipandang secara berbeda dalam lingkup internasional. MMC dapat dianggap efisien dan berkualitas tinggi, tetapi di Inggris, masih ada stigma dari kegagalan masa lalu. Sementara di Indonesia, penerapan prefabrikasi tidak populer dan kurang dikenal luas oleh masyarakat, sehingga muncul sebuah pertanyaan, seperti apa perkembangan konstruksi bangunan dengan sistem prefabrikasi dan modular termasuk kemungkinan kendala-kendala yang dihadapi. Ini tentunya akan menjadi peluang bagi peneliti untuk dijadikan sebagai topik penelitian. Teknologi yang diusung RISHA merupakan konstruksi rumah layak huni dengan sistem bongkar pasang atau knock-down. Setiap modul lengkap RISHA berukuran 3mx3m yang bisa dirangkai hanya dalam jangka waktu 24 jam dengan menggunakan 3 orang pekerja (PUSKIM, 2015). Namun diperlukan sebuah inovasi dan terobosan baru dalam

mengimbangi penyediaan perumahan yang terjangkau dan berkualitas, seperti kemudahan perakitan komponen dan berbasis komunitas.

5. Kesimpulan

Makalah ini telah mengeksplorasi literatur yang ada terkait dengan metode konstruksi prefabrikasi di perumahan bertingkat rendah. Ada banyak literatur akademis dan teknis tentang perumahan bertingkat rendah prefabrikasi Inggris. Ada perkembangan yang signifikan dari metode ini sejak abad kedua belas, khususnya selama Revolusi Industri dan abad kedua puluh, dengan perkembangan lebih lanjut dalam bentuk MMC di abad kedua puluh satu. Hal ini dipengaruhi oleh kemajuan teknologi, perkembangan transportasi, dorongan politik, permintaan perumahan, dan ketersediaan tenaga kerja dan material.

Kegagalan prefabrikasi tidak hanya di kalangan arsitek. Pengembang dan pebisnis sepanjang sejarahnya juga telah gagal. Pelajaran ini sama pentingnya, jika tidak lebih, untuk menentukan bagaimana memanfaatkan janji prefabrikasi dalam arsitektur dan konstruksi. Pada tahun 2000-an "prefabrikasi", di samping bentuk konstruksi non-tradisional lainnya, diganti namanya menjadi MMC untuk menghindari stigma yang melekat pada istilah "prefabrikasi". Prefabrikasi tidak hanya melibatkan desain produk yang indah, dengan koneksi terperinci, bahan jalinan yang disatukan dengan cara standar atau unik, tetapi juga harus dirancang dari sudut pandang produksi. Arsitek umumnya tidak mahir dalam desain produk dan produksi dan tidak dilatih untuk menjadi industrialis. Pelajaran dari Le Corbusier adalah bahwa arsitektur untuk kepentingan arsitektur tidak dapat memenuhi kebutuhan masyarakat akan perumahan yang terjangkau dan berkualitas karena desain produksi harus menjadi bagian dari proses (Smith, 2010).

Banyak makalah akademis dan teknis memiliki fokus yang berbeda, dan mengalami "ambiguitas" literatur. Publikasi BRE didasarkan pada kriteria ilmiah daripada preferensi estetika subjektif dan tidak mempertimbangkan pandangan penjahat atau kritikus arsitektur. Biaya dan kesulitan perkuatan juga tidak dipertimbangkan dalam literatur ini. Namun, sistem seperti itu ternyata berkinerja sebaik konstruksi tradisional, dengan beberapa pengecualian. Mengakui " ambiguitas " ini bukan untuk mengkritik makalah atau penulisnya, ini adalah analisis literatur. Hashemi (2013) menyimpulkan dengan pertanyaan signifikan mengenai pertimbangan kualitas dan biaya untuk pengembangan di masa depan. Makalah ini mengeksplorasi literatur yang mencakup evolusi perumahan bertingkat rendah prefabrikasi yang mencakup rentang waktu yang luas.

Makalah ini memenuhi tujuannya dalam menyediakan sumber daya bagi para peneliti yang ingin menjelajahi evolusi perumahan prefabrikasi. Selain itu, dalam perkembangannya, banyak peneliti fokus pada aspek teknis, namun sangat kurang melihat dari sisi lain mengenai dampak penerapannya bagi pengguna, evaluasi pasca huni. Selain itu, akan menjadi menarik jika ada peneliti yang mencoba melirik kembali kemampuan membangun pada setiap suku/daerah

yang terkadang masih bersifat spiritual dan kosmologis. Pelestarian rumah tradisional dihadapkan pada arsitektur modern yang dibawa oleh era globalisasi dan sebagian tetap berusaha bertahan, dalam rangka mencoba menghargai kebudayaan sendiri.

5.1. Rekomendasi untuk penelitian lebih lanjut

Prefabrikasi memiliki sejarah panjang di Inggris, dan dipetakan secara rinci pada tahun 1900-an. Ada ambiguitas dalam asal usulnya, dan ini mungkin akan diteliti lebih lanjut di masa depan. Ada banyak periode waktu yang bisa dipilih dan dieksplorasi.

Terlepas dari sejumlah besar penelitian yang telah dilakukan pada bangunan prefabrikasi, ada sedikit penelitian yang telah mengeksplorasi sistem konstruksi berbasis lokalitas sesuai dengan ciri arsitektur tradisional. Hal ini didasarkan keunggulan praktek konstruksi modular saat ini dalam hal efisiensi biaya, waktu, bahan, berkelanjutan memiliki kesamaan praktek konstruksi pada arsitektur tradisional.

6. Daftar Pustaka

- Ågren, R. and Wing, R.D. (2014), "Five moments in the history of industrialized building", *Construction Management and Economics*, Vol. 32 Nos 1-2, pp. 7-15
- Arisya, K. F., & Suryantini, R. (2021). *Modularity in Design for Disassembly (DfD): Exploring the Strategy for a Better Sustainable Architecture*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 738(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/738/1/012024>
- Byliss, Simon and Bergin, Rory. (2020). *The Modular Housing Handbook*. RIBA: 66 Portland Place, London
- Building Research Establishment (BRE) (2002), "Non-traditional housing in the UK - a brief review", Building Research Establishment, Garston
- Buswell, R.A., Soar, R.C., Gibb, A.G.F. and Thorpe, A. (2007), "Freeform construction: mega-scale rapid manufacturing for construction", *Automation in Construction*, Vol. 16 No. 2, pp. 224-231.
- Bras, A., Ravijanya, C., de Sande, V. T., Riley, M., & Ralegaonkar, R. V. (2020). Sustainable and affordable prefab housing systems with minimal whole life energy use. *Energy and Buildings*, 220(2020), 110030. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110030>
- Chen, L. K., Yuan, R. P., Ji, X. J., Lu, X. Y., Xiao, J., Tao, J. B., Kang, X., Li, X., He, Z. H., Quan, S., & Jiang, L. Z. (2021). Modular composite building in urgent emergency engineering projects: A case study of accelerated design and construction of Wuhan Thunder God Mountain/Leishenshan hospital to COVID-19 pandemic. *Automation in Construction*, 124(January), 103555. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103555>
- Danby, A. and Painting, N.J. (2007), "Interface problems with volumetric prefabrication", *Construction Management and Economics* 25-year

- Conference, University of Reading, 16-18 July, available at: <http://eprints.brighton.ac.uk/5703/>
- Dimitrov, D., Schreve, K. and de Beer, N. (2006), "Advances in three-dimensional printing - state of the art and future perspectives", *Rapid Prototyping Journal*, Vol. 12 No. 3, pp. 136-147.
- Dunkeld, M. (1987), "Approaches to construction history", *Construction History*, Vol. 3, pp. 3-15.
- De Paris, S. R., & Lopes, C. N. L. (2018). Housing flexibility problem: Review of recent limitations and solutions. *CAADence in Architecture*, 7(1), 80-91. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2017.11.004>
- Edge, M., Laing, R., Craig, A., Abbott, L. and Hargreaves, A. (2003), "Housing the future - key opportunities and constraints in new housing innovation", DTI, available at: www4.rgu.ac.uk/files/housing.pdf (accessed 10 Oktober 2021).
- Gibb, A.G.F. (2001), "Standardization and pre-assembly-distinguishing myth from reality using case study research", *Construction Management and Economics*, Vol. 19 No. 3, pp. 307-315.
- Gunarto, G. T., Kusuma, N. R., Arvanda, E., & Isnaeni, H. (2020). An Analysis of Architectural Approach Towards the Efficiency of RISHA as Post-Disaster Housing Response in Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 452(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/452/1/012029>
- Hashemi, A. (2013), "Review of the UK housing history in relation to system building", *Alam Cipta*, Vol. 6 No. 1, pp. 47-58.
- Hayes, N. (1999), "Making homes by machine: images, ideas and myths in the diffusion of non-traditional housing in Britain 1942-54", *Twentieth Century British History*, Vol. 10 No. 3, pp. 282-309.
- Holt, G.D. (2015), "British construction business 1700-2000: proactive innovation or reactive evolution?", *Construction Innovation*, Vol. 15 No. 3, pp. 258-277.
- Kamali, M., & Hewage, K. (2016). Life cycle performance of modular buildings: A critical review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62, 1171-1183. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.031>
- Kamali, M., Hewage, K., & Sadiq, R. (2019). Conventional versus modular construction methods: A comparative cradle-to-gate LCA for residential buildings. *Energy and Buildings*, 204. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109479>
- Kempton, J. and Syms, P. (2009), "Modern methods of construction: implications for housing asset management in the RSL sector", *Structural Survey*, Vol. 27 No. 1, pp. 36-45.
- Lee, G.-K., & Lim, S.-H. (2011). A Study on Unit Modular Design Method of Urban-type Housing. *Journal of the Korean Housing Association*, 22(5), 101-110. <https://doi.org/10.6107/jkha.2011.22.5.101>
- Lee, J.-M., Jang, O.-Y., & Kim, J.-S. (2014). Study on Recognition and Satisfaction of Modular Housing through the Post Occupancy Evaluation. *Journal of the Korean Housing Association*, 25(5), 63-71.

- <https://doi.org/10.6107/jkha.2014.25.5.063>
- Linner, T. and Bock, T. (2012), "Evolution of large - scale industrialisation and service innovation in Japanese prefabrication industry" , *Construction Innovation*, Vol. 12 No. 2, pp. 156-178.
- Lovell, H. and Smith, A. (2010), "Agencement in housing markets: the case of the UK construction industry", *Geoforum*, Vol. 41 No. 3, pp. 457-468.
- Marquit, A. (2013). *From Sears & Roebuck to Skyscraper: A History of Prefabricated and Modular Housing*. *Academy of Management Best Papers Proceedings*, 8(December), 16.
- Marshall, D., Worthing, D., Dann, N. and Heath, R. (2013), *The Construction of Houses*, 5th ed., Routledge, New York, NY.
- Meyer, T. and Hassler, U. (2009), "Construction history and the history of science - an approach to the scientification of building knowledge", in Karl-Eugen, K., Lorenz, W. and Wetzck, V. (Eds), *Proceedings of the Third International Congress on Construction History - Berlin*, Vol. 2, pp. 1033-1038, available at: www.idb.arch.ethz.ch/files/meyer_2009.pdf
- Monahan, J. and Powell, J.C. (2011), "An embodied carbon and energy analysis of modern methods of construction in housing: a case study using a lifecycle assessment framework", *Energy and Buildings*, Vol. 43 No. 1, pp. 179-188.
- Pan, W., Gibb, A.G.F. and Dainty, A.R.J. (2008), "Leading UK housebuilders' utilization of offsite modern methods of construction", *Building Research and Information*, Vol. 36 No. 1, pp. 56-67.
- Parliamentary Office of Science and Technology (2003), "Postnote - modern methods of house building", Number 209, December, available at: www.parliament.uk/documents/post/postpn209.pdf (accessed 14 October 2021).
- Picon, A. (2005/2006), "Construction history: between technological and cultural history", *Construction History*, Vol. 21, pp. 5-19.
- Piroozfar, A., Altan, H. and Popovic-Larsen, O. (2012), "Design for sustainability: a comparative study of a customized modern method of construction versus conventional methods of construction", *Architectural Engineering and Design Management*, Vol. 8 No. 1, pp. 55-75.
- Puskim. (2015). *Modul RISHA (Rumah Instan Sederhana Sehat)* . Bandung: Balitbang Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan.
- Rahman, M. (2014), "Barriers of implementing modern methods of construction", *Journal of Management in Engineering*, Vol. 30 No. 1, pp. 69-77.
- Phillips, D., Guaralda, M., & Sawang, S. (2016). *Innovative housing adoption: Modular housing for the Australian growing family*. *Journal of Green Building*, 11(2), 147-170. <https://doi.org/10.3992/jgb.11.2.147.1>
- Rosyadi. (2015). *The Tradition of Build A House In Study Of Local Wisdom (A Case Study In Traditional Society Of Kampung Dukuh)*. Patanjala: *Research Journal of History and Culture*, 7(3), 415-430.
- Ross, K. (2005), *Modern Methods of Construction: A Surveyor's Guide*, Building Research Establishment, Watford.

- Safitri, R. A. (2019). PERCEPTION OF LIVING IN LOW-INCOME HOUSING Case study: Petogogan Row Houses. *International Journal on Livable Space*, 4(1), 16. <https://doi.org/10.25105/livas.v4i1.4638>
- Schneider, T. and Till, J. (2007), *Flexible Housing*, Architectural Press – Elsevier, Oxford.
- Smith, Ryan E. (2010). *Prefab Architecture: A Guide to Modular Design and Construction*. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2010.
- Steinhart, D.A., Manley, K. and Miller, W. (2013), “Reshaping housing - the role of prefabricated systems”, School of Civil Engineering and Built Environment, Science and Engineering Faculty, Queensland University of Technology, available at: <http://eprints.qut.edu.au/81175/1/reshaping-housing-prefabricated-systems.pdf/>
- Silva, M. F. (2020). Another way of living: The prefabrication and modularity toward circularity in the architecture. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 588(4). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/588/4/042048>
- Tavares, V., Lacerda, N., & Freire, F. (2019). Embodied energy and greenhouse gas emissions analysis of a prefabricated modular house: The “Moby” case study. *Journal of Cleaner Production*, 212, 1044–1053. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.028>
- Thompson, J. (2019). *Modular Construction: A Solution to Affordable Housing Challenges*. *Cornell Real Estate Review*, 17, 90–97.
- Tomovska, R., & Radivojević, A. (2017). Tracing sustainable design strategies in the example of the traditional Ohrid house. *Journal of Cleaner Production*, 147, 10–24. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.01.073>
- Yatmo, Y. A., Atmodiwirjo, P., Saginatari, D. P., & Harahap, M. M. Y. (2021). Development of modular school design as a permanent solution for post-disaster reconstruction in Indonesia. *International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment*, 12(1), 101–113. <https://doi.org/10.1108/IJDRBE-10-2019>