

ARAH POTENSI PENGEMBANGAN METODE DESAIN DAN KONSTRUKSI BERBASIS DIGITAL DI INDONESIA

Fajar Ikhwan Harnomo¹

¹Dosen Full-time Prodi Desain Interior, Telkom University &
Prodi Arsitektur, Universitas Faletehan

¹ Surel: fajarharnomo@telkomuniversity.ac.id;
fajarharnomo@gmail.com

ABSTRAK: Makalah ini bertujuan untuk memaparkan sebuah pandangan lain tentang bagaimana metode digital di dalam pendekatan desain arsitektur dapat berekonsiliasi terhadap tantangan material dan teknik konstruksi, khususnya kegiatan konstruksi langsung yang dilaksanakan di tempat, di Indonesia. Melalui contoh-contoh konkret praktik arsitektur yang terjadi tentang bagaimana interaksi multi-peran metode digital pada ruang lingkup on-site construction, maka potensi pengembangan sintesis pendekatan digital pada desain arsitektur dapat terlihat secara jelas. Secara deskriptif, strategi desain berbasis komputasi yang ada di pembahasan makalah ini akan berangkat dari pola-pola sistem arsitektur diskrit, maka hal ini akan menjadi pintu masuk bagi metode digital untuk dapat secara komprehensif melihat tantangan konstruksi di lapangan, dan juga sebagai potensi parameter desain yang dapat secara dinamis berpotensi menghasilkan opsi-opsi metode desain yang inovatif. Selain itu, Manifestasi sistem arsitektur diskrit memberikan ruang yang cukup leluasa untuk turut hadirnya peran-peran aktor lain di dalam proses desain hingga konstruksi melalui terminologi arsitektur modular. Dengan demikian, cara pandang baru terhadap digitalisasi di dalam praktik arsitektur di Indonesia secara sinergi dapat merangkul aspek-aspek lokalitas dalam bingkai desain berbasis komputasi, yang secara garis besar dapat memunculkan sistem kolaborasi antara teknologi mutakhir terkini dengan sistem keteknikan konvensional di dalam menyikapi persoalan optimisasi desain dan konstruksi di Indonesia ke depannya.

Kata kunci: materialitas, arsitektur diskrit, konstruksi kolaborasi, *digital, hybrid method*

1. LATAR BELAKANG

Material dan teknik merupakan dua hal yang tidak dapat dipisahkan dalam proses konstruksi, terlebih hal ini menyangkut persoalan pekerjaan konstruksi yang dikerjakan langsung di lapangan (*on-site construction*), karena saling berkaitan secara prosedural, cara pengolahan material tersebut hingga cara pemanfaatannya. Eksistensi material sesungguhnya menentukan bagaimana desain akan diterjemahkan dalam bentuk-bentuk logis agar mampu dirangkai sesuai dengan desain yang dimaksud. Material memiliki peran penting di dalam menentukan metode desain dan konstruksi sebuah bangunan. Sebagai contoh nyata, di Indonesia banyak bangunan-bangunan tradisional yang memiliki teknik konstruksi spesifik yang sebetulnya telah dikuasai dan dipahami oleh masyarakat sekitar melalui pemahaman mendasar tentang eksistensi, pengolahan material hingga perilaku dari material tersebut.

Dalam praktik konstruksi yang ada di Indonesia, secara terbuka dapat kita lihat sebagai sebuah bentuk kesadaran material melalui pola ketukangan yang muncul pada diri pekerja lokal ataupun pengrajin. Dapat dipahami bahwa seorang pengrajin, pada dasarnya memiliki

ikatan yang kuat pada pemahaman karakteristik material yang digunakan dengan keputusan yang diambil sebagai interpretasinya terhadap bentuk penguasaan material itu sendiri. Armand et al. (2014) dalam bukunya yang berjudul *Kesadaran Material* tidak hanya menampilkan sekelumit praktik dan eksplorasi material semata, namun juga memunculkan peran pekerja lokal atau tukang dalam proses-proses konstruksinya.



Gambar 1 (dari kiri ke kanan) Proses pembangunan “*Omah Boto*” karya Arsitek Andy Rahman dengan melibatkan para pekerja dan pengrajin lokal anyaman, batu bata, hingga ukiran.

Sumber: www.thearchitectsdiary.com

Tukang ataupun pengrajin lokal yang telah lama menekuni berbagai jenis material yang beragam, secara tidak langsung memiliki ikatan yang kuat dalam benak mereka tentang kepehaman teknik pengolahan material-material tersebut (Gambar 1). Ikatan yang ada tersebut, sejatinya merupakan bagian dari bentuk kesadaran tukang ataupun pengrajin tersebut untuk mengembangkan produk-produk yang mereka buat berdasarkan aspek sensitifitas alamiah, pengetahuan bahan, hingga lingkungan pendukung terhadap sesuatu yang bersifat terukur, dinamis, dan penuh keragaman. Sehingga, dapat dilihat secara lebih mendalam bahwa aspek kontekstual ini menjadi kunci penting di dalam proses desain dan konstruksi, di mana hal ini tidak hanya berbicara mengenai pengolahan material semata, melainkan juga sisi *social engagement* yang muncul sebagai dampak dari teknik membangun yang kolaboratif atau lebih dikenal dengan istilah gotong royong.

2. TEKNOLOGI DAN PERSOALAN KONSTRUKSI

Di sisi lain, peran dan manfaat yang menjanjikan dari teknologi digital saat ini membuka peluang yang begitu besar bagi setiap kalangan, di manapun, di dalam memahami dan sekaligus terlibat di dalam dunia arsitektur dan konstruksi (Claypool, 2019). Metode desain, teknik konstruksi hingga kalkulasi desain masa depan dalam lingkup simulasi adalah sebagian contoh aspek di dalam arsitektur yang mengambil sintesis dari perkembangan teknologi digital secara langsung sebagai titik berangkat inovasi. Akan tetapi, perlu disadari bahwa kebermanfaatan teknologi di dalam desain arsitektur tentunya berpotongan dengan peran desain arsitektur itu sendiri di dalam menciptakan lingkungan binaan yang secara positif dapat memberikan dampak terbaik bagi manusia.

Implementasi teknologi digital di dalam arsitektur perlu dilihat kembali melalui perspektif yang lebih luas, apakah kehadiran teknologi saat ini telah memberikan manfaat yang signifikan dalam proses desain dan konstruksi arsitektur atau malah sebaliknya. Paradigma digitalisasi di dalam arsitektur, khususnya di Indonesia, mungkin baru dapat dikatakan

hadir di dalam proses simulasi desain saja, sehingga pandangan akan inklusifitas teknologi digital di dalam proses berarsitektur pun perlu ditelaah kembali tentang bagaimana inovasi teknologi di dalam metode arsitektur ini tidak hanya hadir pada proses desain, tetapi juga mampu menjangkau aktifitas konstruksi. Perkembangan teknologi konstruksi mau tidak mau ikut terdorong secara signifikan oleh kehadiran gelombang *Fourth Industrial Revolution (4IR)*. Walaupun sebetulnya, ranah konstruksi itu sendiri merupakan sesuatu hal yang masih terbiasa oleh teknik konvensional dan cenderung lambat beradaptasi dengan digitalisasi jika dibandingkan dengan aspek metode dalam desain. Penting untuk disadari, bahwa persoalan konstruksi tidak hanya berkaitan dengan penerapan kemajuan teknologi pada pada proses konstruksi itu sendiri, tetapi juga berkaitan erat dengan keterjangkauan penggunaannya.

Proses konstruksi di lapangan secara langsung (*on-site construction*) terpaut langsung dengan aspek kontekstualitas. Lebih jauh lagi, kontekstualitas tidak saja memaparkan batasan secara fisik di dalam lapangan, namun juga menjadi tolak ukur bagi arsitek di dalam menentukan metode desain yang tepat guna. Sebagai gambaran, tantangan konstruksi dapat dilihat secara nyata dalam kasus konstruksi yang dilakukan oleh Dr.-Ing. Andry Widyowijatnoko, tahun 2019 silam. Beliau sebagai perwakilan dari Prodi Arsitektur ITB membangun posko pasca bencana di Palu, khususnya di Mamuju (Gambar 2 dan 3). Secara perhitungan logis dalam kondisi normal, perjalanan dari Palu ke Mamuju akan memakan waktu beberapa jam, dan tentunya kondisi ini akan memakan waktu lebih lama dari kondisi normal, terutama dalam situasi pandemi. Melihat hal tersebut, metode pendekatan desain dan konstruksi secara jarak jauh menjadi opsi yang paling logis dan relevan, di mana hasil desain shelter perlu dibangun dengan menggunakan metode lokal dan konvensional untuk menghadapi kondisi sebenarnya di lokasi, terutama pada bahan bangunan dan keterlibatan tenaga kerja konstruksi lokal. Sementara desain tetap menyesuaikan secara fleksibel menggunakan *platform* digital secara jarak jauh dari Bandung.



Gambar 2 dan 3 Konstruksi shelter berbahan bambu dan kayu lokal dengan melibatkan bantuan masyarakat setempat dan relawan.

Sumber: www.itb.ac.id

3. MANIFESTASI ARSITEKTUR DISKRIT

Mario Carpo dalam bukunya yang terkenal berjudul *“The Second Digital Turn”* (2017) mengungkapkan, bahwa arsitektur diskrit adalah sebuah bentuk pergeseran paradigma dalam desain yang diakibatkan oleh peran mesin digital dalam menerjemahkan bentuk-bentuk geometri pada desain, yaitu dari prinsip kontinuitas ke bentuk yang terpisah-pisah,

terutama desain-desain yang mengadopsi bentuk-bentuk lengkung. Spektrum kecepatan, variabilitas dan pemanfaatan teknologi digital pada desain arsitektur secara radikal turut mengubah paradigma berfikir teknik konstruksi, khususnya teknik konstruksi secara digital, dimana hal tersebut mengarah pada sistem konstruksi terbuka (*open-ended*) dengan pendekatan sistem perakitan diskrit (modular). Secara mendasar, pola berpikir dari desain berbasis diskrit merespon kenyataan bahwa kontinuitas abstrak garis-garis matematis dari titik-titik *Euclidean*, yang selama ini menjadi dasar bentuk-bentuk lengkung, tidak ada dalam realitas fisik, khususnya dalam konteks fabrikasi dan industri. Bahkan jika dilihat secara lebih mendalam, kontinuitas matematis tersebut dapat dipahami sebagai bagian-bagian yang terfragmentasi (terpisah).

Berdasarkan basis konsep tersebut, sistem diskrit pada arsitektur dapat diposisikan melalui perspektif desain dan konstruksi, yaitu untuk menguraikan persoalan skalabilitas dan logistik secara adaptif dalam menanggapi berbagai skenario perakitan sesuai dengan kebutuhan lapangan yang berbeda. Sehingga, hal tersebut akan sangat berpengaruh dalam proses perakitan kontekstual, pembongkaran, atau bahkan perakitan ulang kontekstual (Claypool, 2019). Lebih jauh lagi, arsitektur diskrit dapat dipandang sebagai cara baru di dalam membuat model desain spasial secara inklusif dan merata, yaitu sebagai konsep bentuk secara komponen atau *voxel*. Diskrit pada desain arsitektur secara teknis mewakili interaksi tektonik antara setiap set elemen yang terdiri dari geometri, sistem sambungan, dan perilaku material. Seperti yang juga dikemukakan oleh Gilles Retsin dalam jurnal *Architectural Design* (2019):

“Arsitektur diskrit bertujuan untuk mengembangkan strategi desain dalam perspektif sebuah sistem rakitan yang berulang. Elemen-elemen diskrit generik yang dibuat akan dapat digabungkan kembali dalam sebuah bentuk rakitan baru agar dapat menjadi bangunan kompleks yang berfungsi secara optimal... Bentuk elemen-elemen (model komponen) diskrit tidak dioptimisasi untuk merespon kondisi ada, tetapi elemen-elemen tersebut akan merespon kondisi dalam bentuk susunan unit yang terakumulasi secara berulang dan terekombinasi melalui kondisi yang berbeda. Elemen-elemen tersebut dapat diproduksi secara massal dengan murah dan memungkinkan sistem desain dan proses produksi yang terbuka (open-ended).”

Secara umum, arsitektur diskrit mengadopsi metode agregasi yang diregenerasi dalam bingkai *component-based system*. Fleksibilitas metode agregasi dalam istilah arsitektur diskrit secara intrinsik ternyata dapat secara terbuka mempertimbangkan penggabungan pendekatan digital dan konvensional dalam menanggapi masalah konstruksi, terutama dalam sistem perakitannya. Dalam ranah praktik, Kengo Kuma telah menunjukkan penanganan konsep diskresi dan menyoroti masuknya teknologi digital pada kendala tradisional sebagai potensi karya arsitektur partisipatif dengan menggunakan gaya agregasi. Karya-karya Kengo Kuma menyiratkan pesan kuat akan keberlangsungan teknik konvensional yang berpau dengan baik terhadap digitalisasi konstruksi dalam desain arsitektural (Gambar 4).



Gambar 4 Konstruksi batang-batang kayu dalam rakitan terpisah (*discrete assembly*) pada GC Prostho Museum Research Center di Jepang, karya Arsitek Kengo Kuma
Sumber: www.archdaily.com

Tidak hanya Kengo Kuma, praktik implementasi arsitektur diskrit yang bersinggungan dengan aspek sosial dapat terlihat pada karya-karya yang kontemporer, semisal “*Bloom*” (2016) karya dari Jose Sanchez. Jose Sanchez telah secara sukses mengekspos makna partisipatif arsitektur diskrit pada proyeknya, yaitu dengan menerapkan prinsip-prinsip sistem konstruksi terbuka berdasarkan komponen modular sederhana, yang memungkinkan orang lain untuk memiliki keterlibatan di dalam interpretasi karyanya sebagai bentuk kolaborasi sosial antara proyek arsitektur dan intuisi mereka. Melalui karyanya tersebut, Jose Sanchez membuka ruang interaktif kepada publik untuk bisa terlibat dan berperan secara kuat dalam menghasilkan sebuah karya konkret dari *computational design*, sehingga publik awam pun merasakan arti kehadiran penting mereka di dalam hasil karya arsitektur tersebut (Gambar 5), sama halnya seperti bermain LEGO.



Gambar 5 “*Bloom*” karya Jose Sanchez
Sumber: <https://www.plethora-project.com/bloom>

4. INTEGRASI TEKNOLOGI DAN KONSTEKTUALITAS

Seperti yang telah disinggung pada latar belakang di atas, bahwasanya materialitas adalah aspek penting di dalam proses desain arsitektur, khususnya dalam sudut pandang digital. Peran material tidak hanya menentukan metode desain, tetapi juga sebagai tolok ukur seberapa jauh peran teknologi itu akan menjangkau persoalan *built environment*. Peran

material ini dianggap sangat penting, karena menentukan kemampuan penyediaan bahan dasar bangunan yang akan digunakan. Secara inspiratif, Pirouz Nourian dari TU Delft menyampaikan gambaran mengenai titik persinggungan antara teknologi dan material sebagai bentuk pendekatan inovatif di dalam metode desain arsitektur yang secara jauh mampu menjangkau arsitektur masyarakat lokal. Melalui proyek prestisiusnya yang berjudul “*EARTHY*”, ia memaparkan pendekatan “*high tech design meets low tech construction*” sebagai upaya inklusifitas dalam arsitektur digital melalui adaptasi teknologi desain terhadap adaptasi material bangunan berbahan dasar tanah. Perspektif ini sejalan dengan kontekstualitas yang dibangun dalam desain arsitektur vernakular, di mana bahan bangunan yang digunakan sebagian besar mengambil dari ketersediaan yang ada di sekitar lokasi, sehingga hal ini juga secara signifikan mampu memicu pengurangan mobilisasi bahan bangunan dari luar lokasi.

Tidak hanya berbicara mengenai material berbahan dasar tanah, material alami lainnya pun dapat secara luas mempengaruhi teknik atau metode pendekatan digital yang diterapkan dalam desain arsitektur dan konstruksi langsung pada lokasi (*on-site construction*). Bambu adalah salah satu contoh material alami berbasis tumbuhan yang secara signifikan banyak digunakan sebagai masyarakat tradisional untuk membuat komponen-komponen bangunan. Teknologi bambu telah lama dikenal dan terendap di dalam pemahaman teknik konstruksi masyarakat setempat, khususnya di Indonesia. Tidak hanya itu, pertumbuhan material bambu pun sejauh ini mendominasi wilayah di Indonesia dengan berbagai macam jenis di samping keberadaan kayu.

Sebagai contoh lainnya, “*Nomadic Structure*”, merupakan sebuah tema *workshop* yang digagas oleh Program Studi Arsitektur ITB dengan *Faculty of Architecture, Design and Planning, The University of Sydney* yang mencoba memberikan gambaran potensi dari perpotongan antara metode digital dengan konsep konstruksi material lokal. *Workshop* tersebut menyoroti pengembangan kualitas model spasial melalui permasalahan urban dengan mengangkat fenomena aktifitas pedagang kaki lima. Mobilitas pergerakan pedagang kaki lima dari pola datang-berjualan-pulang pun menjadi dasar analisis model arsitekturnya (Gambar 6, 7, dan 8).

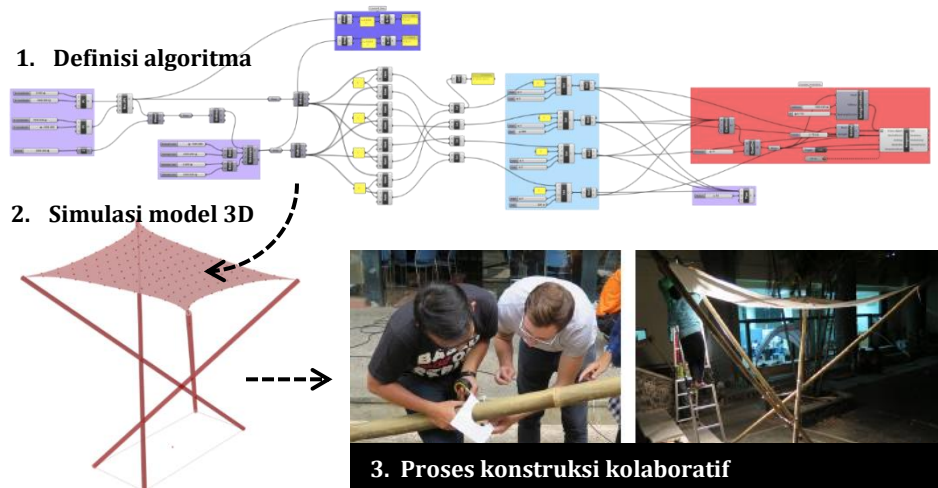


Gambar 6, 7 dan 8 Desain dan konstruksi kios *temporary “Nomadic Structure”* untuk pedagang kaki lima di lingkungan Kampus ITB Ganesha.

Sumber: Dokumentasi penulis & dokumentasi Aswin Indraprastha (ITB)

Menariknya, bambu menjadi salah satu pilihan material yang diambil karena alasan ketersediaan dan pengolahannya yang cukup dikenal luas di masyarakat. Dengan adanya

keterlibatan peran teknologi digital, proses iterasi desain dan simulasi menjadi lebih cepat dan akurat. Proses desain secara umum menggunakan simulasi fisik dan struktural dari konstruksi bambu yang dibuat. Kemudian, aspek konstruksi dilakukan secara manual dan konvensional dengan melibatkan peran tukang atau pekerja bambu lokal sebagai bagian dari tujuan lokakarya ini. Keterlibatan mereka menjadi salah satu indikasi penting mengenai bagaimana kemampuan metode arsitektur baru yang terdiri dari prosedur berbasis teknologi secara berhasil mampu berperan secara substansial dan kolaboratif dalam melihat limitasi material dan teknik konstruksi konvensional.



Gambar 9 Prosedur algoritma dan proses implementasi desain “Nomadic Structure”
Sumber: Dokumentasi penulis & dokumentasi Aswin Indraprastha (ITB).

5. POTENSI PENGEMBANGAN

Dibalik beragamnya budaya konstruksi di Indonesia, terdapat hal yang begitu mencolok dari material dan cara pengolahannya. Teknik-teknik membangun secara kolaboratif dan konvensional masih menjadi pilihan yang paling logis dan relevan apabila kita melihat melalui kacamata persoalan yang ditelaah pada kasus *shelter* pasca gempa di Mamuju. Sehingga hal ini menjadi penting untuk proses pengembangan komputasi desain berbasis lokalitas di Indonesia, yaitu perlu melihat adanya irisan penting antara peran serta tukang dan merujuk pada sistem keteknikan yang ada.

Sistem membangun masyarakat di Indonesia tidak hanya merujuk pada keberhasilan konstruksi itu sendiri dalam hal pelaksanaannya, tetapi juga secara luas menyentuh aspek-aspek keberlanjutan seperti *building maintenance*, dimana komponen bangunan yang lama secara berkala dapat diganti dengan komponen bangunan yang baru melalui bentuk yang sama dan karakteristik material yang sama. Dengan demikian, pola-pola metode desain yang berkelanjutan dapat dipahami dalam proses desain dan konstruksinya sebagai sebuah sistem membangun yang komprehensif.

Melalui prinsip tersebut, maka pengembangan implementasi metode terkini dari arsitektur, yang umumnya telah banyak mengedepankan peran teknologi digital, secara bijaksana harus memiliki irisan terhadap kaitan budaya membangun masyarakat setempat. Praktik yang ada saat ini, lebih banyak memunculkan sisi transformasi nilai-nilai budaya secara visual semata ketimbang sesuatu yang bersifat *engineering*. Dengan dihadapkannya *digital architecture* pada kondisi-kondisi non-ideal, eksposisi pengembangan metode desain arsitektur berbasis digital secara prinsip dapat dikembangkan melalui sisi *engineering* dengan sudut pandang arsitektur diskrit.

5.1 Desain Komputasi Berbasis Karakteristik Fisik Material

Material bangunan yang berbasis pada lokasi eksisting yang mengambil unsur-unsur alami akan selalu identik dengan sesuatu yang acak, tingkat kesamaan dimensi antar komponen yang kecil, hingga jumlah ketersediaan yang terbatas, karena kondisi ideal dari konstruksi di lapangan tidak selalu hadir untuk memudahkan proses desain dan konstruksi. Sedangkan, mendesain dengan berbasis pada komponen fabrikasi yang umumnya lebih mudah untuk menyesuaikan dengan ekspresi desain, dapat secara terukur dihitung dan dibawa ke dalam perhitungan struktur dan konstruksi yang lebih kompleks secara bersamaan. Maka, penggunaan teknologi dalam konteks ini, perlu menjangkau lebih jauh lagi, di mana hal tersebut memungkinkan perhitungan iterasi desain dalam tingkat yang kompleks dengan komponen-komponen yang berbeda satu sama lain. Karena pada dasarnya teknologi komputasi di dalam desain akan mempertimbangkan aspek *constructability* secara menyeluruh melalui mekanisme mendasar dari karakteristik material yang digunakan.

Teknologi yang bersifat aplikatif dapat dikatakan berperan penting di dalam proses penentuan metode desain arsitektur. Keberadaannya tidak hanya muncul sebagai media iterasi desain secara cepat, namun juga secara kuantitatif mampu mengalkulasikan hal-hal yang mungkin sulit dilakukan, khususnya pada perhitungan komponen material non-standard. Kemajuan pengembangan perangkat lunak dan teknologi mutakhir semakin memungkinkan para arsitek ataupun desainer bereksplorasi dengan *material constraints* yang berpijak pada homogenitas ataupun modular ideal dari material yang digunakan sebagai komponen struktur, dimana komponen bangunan standar umumnya telah melalui proses rekayasa ataupun pengolahan agar mampu menyesuaikan dengan kebutuhan desain.

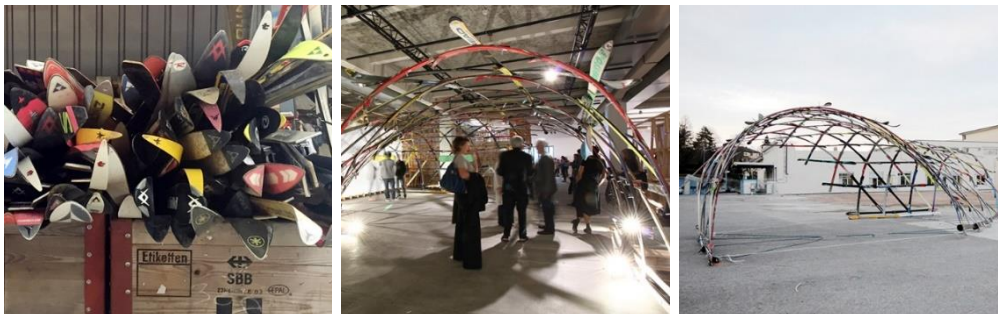


Gambar 10,11, dan 12 Bentuk dasar material alami yang dapat dikalkulasi secara digital menggunakan *3D Scanner* dan optimasi struktur (*Branch Formation*).

Sumber: www.conceptual-joining.com

Dalam konteks ini, peran serta *tools* yang digunakan di dalam mendesain secara substansial tidak berperan melalui karakteristik sifat dan perilaku materialnya semata, namun juga mengambil secara utuh *raw appearance* dari material yang digunakan, semisal karya *Conceptual Joining: Branch Formations* yang digagas oleh *University of Applied Arts Vienna* (Gambar 10, 11, dan 12) dengan menambil bentuk asli dari cabang-cabang pohon dasar sebagai komponen strukturnya. Secara implisit, *Conceptual Joining* memberikan gagasan yang sangat menarik terkait materialitas dan digitalisasi.

Bentuk dasar dari komponen yang mengambil langsung dari cabang-cabang berbentuk huruf “Y” sebagai residu dari pengolahan kayu pohon, menghasilkan sebuah paadigma lain dari peran teknologi digital di dalam menarik lebih jauh potensi struktural terhadap material-material *non-standard* dan heterogen secara bentuk fisiknya. Hal ini sangat menggugah pikiran, karena secara garis besar aspek konstekstualitas dari *on-site construction* juga berkaitan erat dengan kondisi bentuk dan fisik dari material yang digunakan. Lebih jauh lagi, proses desain dan konstruksi yang dilakukan pada kasus *Branch Formations* tersebut secara aplikatif mengurangi proses pengolahan bahan material dasar untuk komponen bangunan, karena prinsipnya komponen yang digunakan secara langsung mengadopsi bentuk dasar dari material yang tersedia di alam. Dengan demikian, dapat dikatakan bahwa teknologi digital secara terbuka dapat digunakan untuk membuat sebuah rakitan struktur berbasis objek-objek yang bersifat heterogen melalui optimasi dan dan simulasi.



Gambar 13, 14, dan 15 Inovasi konstruksi modular berbahan dasar papan ski sebagai komponen strukturnya dalam konteks bahan konstruksi daur ulang.

Sumber: <https://www.epfl.ch/labs/sxl/index-html/research/waste-upcycling/>

Proses pengolahan material tidak hanya dimaknai sebagai salah satu akibat dari proses optimasi bentuk. Namun sebaliknya, material diolah secara terbatas dan dibiarkan dengan bentuk asalnya untuk kemudian dioptimasi sebagai sebuah rakitan struktur diskrit dari komponen-komponen yang berbeda satu sama lain. Konsep pengolahan material seperti ini turut dikembangkan oleh SXL (*Structural Xploration Lab*) yang dikembangkan oleh Profesor Corentin Fivet dari EPFL dan Dr. Sofia Colabella (sekarang di *The University of Melbourne*). Beberapa hasil karya yang dihasilkan, terlihat secara cerdas mengambil celah peran teknologi dalam mengoptimisasi bentuk-bentuk komponen struktur yang telah ada atau tersedia apa adanya, untuk kemudian dirangkai, disusun, dan dirakit melalui proses optimisasi secara digital (Gambar 13, 14 dan 15). Metode desain berbasis komputasi dari penerapan teknologi digital dapat secara jauh menyentuh sesuatu yang bersifat *waste* untuk

kemudian dapat didaur ulang dalam konteks struktur rakitan baru yang lebih menarik dan efektif. Dengan kata lain, pengembangan pendekatan ini berpotensi menjangkau isu ketersediaan bahan dengan menekankan pada aspek pada *reusable material*.

5.2 Implementasi Immersive Technology pada Proses Konstruksi

Penggunaan perangkat *immersive technology* berbasis *augmentation* pada dasarnya dapat secara efektif merepresentasikan bentuk konstruksi dengan lebih informatif. Adanya visualisasi virtual yang secara terintegrasi dengan kondisi lingkungan yang nyata, dapat secara proporsional menjadi acuan di dalam melaksanakan proses konstruksi yang lebih interaktif. Lebih jauh lagi, pemanfaatan perangkat teknologi ini secara potensial dapat menggantikan posisi dokumentasi gambar-gambar konstruksi yang selama ini menjadi acuan pekerjaan di lapangan. Para pekerja pelaksana konstruksi akan secara mudah berinteraksi secara digital untuk mengetahui lebih detail mengenai sistem struktur, sistem sambungan, bahkan posisi-posisi penting di dalam menentukan titik sambungan antar komponen, sehingga kompleksitas dari desain akan mudah diterjemahkan melalui peran perangkat tersebut.

Immersive technology yang digunakan pada proses konstruksi secara prinsip berpedoman pada kemudahan di dalam mengkomunikasikan desain. Kecepatan pembaharuan desain dapat secara langsung berhubungan dengan perangkat yang digunakan, sehingga para pekerja akan secara mudah melihat kondisi *update* dari desain yang mereka kerjakan secara *paperless*. Tidak hanya itu, penggunaan teknologi ini akan mendorong proses konstruksi yang lebih kolaboratif dan secara sosial akan mampu menciptakan *engagement* sesuai dengan prinsip konstruksi tradisional yang selama ini berlaku, khususnya di Indonesia. Sebagai contoh konkret, Soomen Hahm (2019) mencoba mengimplementasikan *immersive technology tools* untuk merealisasikan sebuah karya yang spektakular, yang diberi nama *Steampunk Pavilion*.



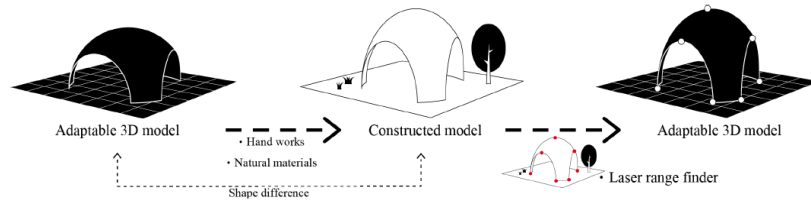
Gambar 16, 17, dan 18 Proses assembly menggunakan bantuan sistem perangkat *immersive technology*.

Sumber: <https://soomeenhahm.com/portfolio-item/steampunk-pavilion/>

5.3 Metode Reverse-Engineering System sebagai Solusi Desain dan Konstruksi

Professor Yasushi Ikeda dan Imanishi (2018) memperkenalkan prosedur penerapan pendekatan *Reverse-Engineering System* pada proses desain dan konstruksi jarak jauh. Secara teknis, lokasi tempat dilaksanakannya kegiatan desain terpisah di pulau terpencil tempat dilaksanakannya proses konstruksi. Pendekatan atau metode tersebut dimaksudkan untuk menangani kendala desain dan konstruksi lokasi dengan

memanfaatkan pengetahuan bahan dan teknik membangun masyarakat lokal, yaitu dengan sistem cor beton di tempata menggunakan tulangan (rangka) bambu. Sistem Reverse-Engineering secara positif juga mampu melibatkan konstruksi partisipatif dan Augmented Reality (AR) sebagai pedoman konstruksi untuk meminimalkan kurangnya presisi (Gambar 15).



Gambar 1 & 2 Diagram alur proses *Reverse Engineering System*.
Sumber: Imanishi et al. (2018)

6. KESIMPULAN DAN DISKUSI

Integrasi metode digital dan konvensional pada dasarnya merupakan tantangan besar di dalam proses desain dan konstruksi secara digital, khususnya di Indonesia. Cara pandang ini tidak hanya berangkat dari titik perpotongan inovasi antar metode semata, namun lebih jauh dari itu semua, bahwa realitas kondisi fisik di Indonesia dapat menjadi sebuah parameter baru di dalam mengembangkan peran instrumen digital di dalam proses berarsitektur. Pola-pola kolaborasi yang terjadi sangat memungkinkan untuk menelurkan pendekatan desain digital yang inklusif di dalam merespon persoalan konstruksional secara lebih adaptif dan logis.

Secara umum, berdasarkan eksposisi dari ketiga potensi pengembangan pendekatan desain berbasis komputasi tersebut, terdapat faktor penting yang saling bertautan sebagai benang merah dari aplikatifnya penerapan teknologi digital yang digunakan, yaitu sistem perakitan diskrit sebagai pondasi. Pendekatan komputasi berbasis sistem diskrit komponen adalah dasar dari kemudahan aplikasi sistem konstruksi modular yang dapat secara mudah dipahami dan diaplikasikan. Melalui sistem konstruksi berbasis perakitan, arsitek atau desainer dapat secara efektif menggandeng peran para pekerja lokal untuk dapat terlibat langsung di dalam proses konstruksinya. Selain itu, proses perakitan yang relatif lebih mudah menggunakan teknik sambungan konvensional, akan lebih memaksimalkan komunikasi antar desainer dan kontraktor dalam proses desain hingga realisasi. Sehingga, potensi ini dapat menjadi gerbang, pintu masuk baru di dalam adaptasi teknologi digital, baik secara desain maupun konstruksi.

Melalui gambaran yang telah dijelaskan, dasar pijakan sistem desain berbasis komputasi secara langsung dapat merespon bentuk fisik material yang tersedia di lapangan. Di sisi lain, peran *Immersive Technology* seperti *Augmented Reality (AR)* ataupun *Mixed Reality (MR)* yang dibalut dengan pola metode *Reverse-Engineering System* akan sangat signifikan membantu proses konstruksi di lapangan. Dimana proses-proses perakitan komponen struktur secara mudah dapat dikomunikasikan kepada para pekerja melalui bentuk *digital*

guideline secara interaktif. Identifikasi kondisi eksisting secara digital akan mampu perancang dalam memprediksikan kondisi-kondisi model pada simulasi secara *real-time*. Sebagai konsekuensi positif, sistem ini akan secara optimal mengurangi aktifitas mobilisasi komponen dan material bangunan yang mungkin cenderung akan memperbesar biaya dari kegiatan konstruksi itu sendiri. Namun, dalam hal sistem *Reverse-Engineering System*, teknik pembuatan bangunan perlu melihat dari sisi sistem sambungan konstruksi bangunan yang lazim di lakukan masyarakat setempat dan metode konstruksi berbasis beton, mungkin bukanlah hal yang umum digunakan masyarakat lokal, khususnya di Indonesia.

7. ACKNOWLEDGEMENT

Diskusi terhadap permasalahan konstruksi dan digitalisasi, pertama kali dilakukan melalui evaluasi pada *shelter* pasca bencana gempa di Mamuju secara langsung dengan mewawancarai Dr.-Ing. Andry Widyowijatnoko dari ITB sebagai narasumber utama. Pengembangan gagasan konstruksi jarak jauh kemudian dielaborasi pada pembahasan metode *Reverse-Engineering System* bersama Profesor Yasushi Ikeda dari *Keio University* pada satu kesempatan wawancara secara online. Selain itu, sistem kolaborasi pada konstruksi modular dengan menggunakan material lokal sebelumnya telah diapresiasi secara langsung oleh Profesor Meryem Birgöl Çolakoğlu dari *Istanbul Technical University (ITU)* dengan filosofi grup risetnya yang mengusung konsep *circularity*.

DAFTAR PUSTAKA

- Agkathidis, A., & Manning-Spindt, B. (2014). High-tech/ Low-tech: Computational design and fabrication in the Chinese context.
- Carmo, M. (2017). *The Second Digital Turn: Design Beyond Intelligence*. MIT Press.
- Carmo, M. (2019). Particled: Computational Discretism, or The Rise of The Digital Discrete. *Architectural Design; Discrete: Reappraising The Digital in Architecture*, pp. 86-94.
- Claypool, M. (2019). Retrieved from SPACE10: <https://space10.com/project/digital-in-architecture/>
- Colabella, S., D'Amico, B., Hoxha, E., & Fivet, C. (25 - 28th September, 2017). Structural Design with Reclaimed Materials: an Elastic Gridshell out of Skis. *Proceedings of the IASS Annual Symposium 2017, "Interfaces: architecture.engineering.science"*. Hamburg, Germany: Annette Bögle, Manfred Grohmann (eds.).
- Conceptual Joining – Wood Structures from Detail to Utopia*. (n.d.). Retrieved from Conceptual Joining: https://conceptual-joining.com/?page_id=9
- Garcia, M. J. (2019, March/April). Discrete Flexibility: Computing Lightness in Architecture. *Architectural Design; Discrete: Reappraising The Digital in Architecture*, pp. 70-78.
- Hahm, S. (n.d.). *Steampunk Pavilion*. Retrieved 2021, from Soomeen Hahm Design: <https://soomeenhahm.com/portfolio-item/steampunk-pavilion/>
- Harnomo, F. I., & Indraprastha, A. (2016). Computational Weaving Grammar of Traditional Woven Pattern. *Parametricism Vs. Materialism: Evolution of Digital Technologies for*

- Development [8th ASCAAD Conference Proceedings ISBN 978-0-9955691-0-2]*, (pp. 75-84). London.
- Hidayat, Anas; Rahman, Andy;. (2019). *Nata Bata: Ingenuity of Craftsmanship and Nusantara Architecture*. Jakarta: Omah Library (RAW Press).
- Holzer, D. (2010). Optioneering in Collaborative Design Practice. *International Journal of Architectural Computing (IJAC)*, Issue 02, Vol 08, 165-182. Retrieved from <http://cumincad.scix.net/data/works/att/ijac20108205.pdf>
- Huang, J. M. (2017). Integrating Computational Design and Traditional Crafts: A Reinvention of Bamboo Structures. *Protocols, Flows and Glitches, Proceedings of the 22nd International Conference of the Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA)* (pp. 437-445). Hongkong: The Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA).
- Imanishi, N., Ogihara, H., Cheddadi, M., Hotta, K., & Ikeda, Y. (2018). Adaptable Design-Construction Method for Remote Location. *Learning, Adapting and Prototyping; Proceedings of the 23rd International Conference of the Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA)* (pp. 327-336). Hongkong: Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA).
- Muslimin, R. (2012). Recursive Embedding of Gestalt Laws and Shape Grammar in the Weaving Design Process. *eCAADe 30*, pp. 443-450.
- Muslimin, R. (2014). *Ethnocomputation: on Weaving Grammars for Architectural Design*. Cambridge, MA, USA: Massachusetts Institute of Technology.
- Nourian, Pirouz; Azadi, S.; Hoogenboom, J.J.G.G.; Sariyildiz, I.S. (2020, July). EARTHY: Generative Design for Earth and Masonry Architecture. *RuMoer: Periodical for the Building Technologist*, pp. issue 74, 47-53.
- Oxman, N. (2010, June). *Thesis (Ph. D.)--Massachusetts Institute of Technology, Dept. of Architecture, 2010*. Retrieved from DSpace@MIT, MIT Libraries: <https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/59192>
- Retsin, G. (2016). Discrete Assembly and Digital Materials in Architecture. *eCAADe; FABRICATION | Robotics: Design & Assembling*, pp. 143-151.
- Retsin, G. (2019). Digital Assemblies: From Craft to Automation. *Architectural Design; Discrete: Reappraising The Digital in Architecture*, pp. 38-45.
- Sanchez, J. (2016). Combinatorial Design: Non-Parametric Computational Design Strategies. *ACADIA*.
- Sanchez, J. (2019). Architecture for The Commons: Participatory Systems in the Age of Platforms. *Architectural Design; Discrete: Reappraising The Digital in Architecture*, pp. 22-29.
- Widyowijatnoko, A. (2021). *Laporan Pengabdian Masyarakat ITB : Pasca Gempa Sulawesi Barat*. Retrieved July 14, 2021, from Architecture Study Program: <https://ar.itb.ac.id/en/archives/9850>