

AUTOMATICTECTURE : OTOMATISASI PENUH DALAM ARSITEKTUR MASA DEPAN

M. Galieh Gunagama dan Nur Fitri Lathifa
Universitas Islam Indonesia Yogyakarta
Galieh.gunagama@uii.ac.id

ABSTRAK. Teknologi memudahkan umat manusia dalam hidup, akan tetapi, perkembangan yang terjadi juga membawa dampak negatif berupa terancamnya sejumlah profesi dengan adanya otomatisasi. Proses otomatisasi telah menggantikan porsi pekerjaan manusia dengan mesin berkecerdasan, dan tren tersebut akan semakin membesar seiring berjalannya waktu. Dalam hubungannya dengan studi eksperimental dan prediksi masa depan, dunia rancang bangun juga memiliki kemungkinan untuk diotomatisasikan dengan adanya perkembangan dalam bidang arsitektur digital, robotika, dan kecerdasan buatan. Di tengah kondisi global yang serba cepat dan penuh dinamika, dunia arsitektur perlu mempersiapkan diri dalam menghadapi perkembangan tersebut jika tidak ingin segera digantikan. Diskusi dalam paper ini mencoba untuk mengeksplorasi lebih dalam dan memprediksikan profesi arsitek pada masa depan dalam skenario terbaik dan terburuk terkait perkembangan proses otomatisasi yang semakin tidak terhindarkan.

Kata kunci: Arsitektur Eksperimental, Arsitektur Digital, Teknologi, Masa Depan

ABSTRACT. *Technology facilitates mankind in life, however, developments that occurred also had a negative impact in the form of threats to a number of professions with automatization. Automation process has replaced the portion of human work with the intelligent machine, and the trend will be growing over time. In conjunction with experimental studies and future predictions, the design and construction field also have the possibility to be automated with the development in the field of digital architecture, robotics, and artificial intelligence. Amid the global fast-paced and dynamic environment, architecture needs to be prepared in facing such developments if do not want to immediately replaced. The discussion in this paper attempts to explore deeper and predict the future of the profession in the best and worst case scenario related to the development of automation process which is increasingly unavoidable.*

Keyword: *Experimental Architecture, Digital Architecture, Technology, Future*

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi memudahkan umat manusia dalam hidup. Kecenderungan perkembangan teknologi menuju arah otomatisasi menjadi semakin tidak terhindarkan. Dari ditemukannya teknologi mikrochip untuk komputer di dekade 1960-an, inovasi dan kemajuan daya pikir manusia telah diperluas dengan adanya perangkat canggih yang tersedia secara umum.

Sebuah prediksi tentang perkembangan teknologi pada tahun 1960-an menyatakan bahwa dalam setiap 2 tahun, kemampuan mikrochip komputer akan berkembang 2 kali lipat[1]. Hal ini dapat dipahami bahwa semakin berkembang chip komputer, maka kemampuan memproses chip tersebut juga akan semakin tinggi.

Sejarah membuktikan bahwa kecepatan perkembangan teknologi tersebut sudah berlangsung selama 4 dekade dan hanya dalam hitungan puluhan tahun, lansekap teknologi yang dimiliki umat manusia telah

berubah menjadi sangat canggih melebihi bagian manapun dari sejarah. Meskipun teknologi mikrochip disebut-sebut mengalami perlambatan [2], namun perlambatan yang dimaksud bukan pada kecepatan prosesnya. Akan tetapi lebih pada perlambatan kemampuan teknis, yang mana, para produsen chip sudah hampir tidak lagi mampu untuk meletakkan transistor berukuran sangat kecil, yaitu mencapai nanometer.

Sama halnya dengan berbagai disiplin ilmu pengetahuan yang lain. Perkembangan teknologi juga menyentuh dunia arsitektur. Munculnya teknologi mengubah cara arsitek dalam mendesain. Penggunaan media presentasi desain berevolusi dari yang semula hanya dilakukan secara manual dengan kertas, penggaris, dan pena, menjadi data-data yang tersimpan dalam memori digital.

Mesin bantu gambar digital pertama diciptakan pada dekade 60-an. Dengan kemampuannya memunculkan gambar dalam bentuk digital, keberadaan mesin gambar tersebut menjadi tonggak sejarah dimulainya era komputer

dalam dunia arsitektur[3]. Terobosan terus terjadi hingga pada dekade 80-an, sampai muncul perangkat lunak yang lebih ramah dengan penggunaan elemen visual sebagai tampilannya.

Kemunculan sistem operasi berbasis visual diikuti rangkaian produk aplikasi yang memanfaatkan ekosistem digital tersebut. Pada dekade 80-an inilah muncul pula produk aplikasi yang dapat membantu dalam mendesain dengan komputer atau biasa disebut dengan CAD (*Computer Aided Design*)[4]. Kemunculan CAD lalu diikuti pula dengan urgensi untuk mempresentasikan bentuk bangunan dan arsitektur dengan menggunakan bantuan komputer. Dari sinilah lini produk yang dapat mencitrakan model 2 dan 3 dimensi dalam dunia arsitektur kemudian muncul.

Dekade 90-an dalam ranah arsitektur digital merupakan saat-saat terbaik dalam hal pengembangan perangkat lunak arsitektur. Dalam dekade yang sama dengan munculnya CAD 2 dimensional dan *software modeling* 3 dimensional, dikembangkan pula perangkat lunak gabungan dari keduanya. Sebagai generasi berikutnya dari perangkat lunak arsitektural, *Building Information Modeling* (BIM) memasukkan unsur informasi ke dalam sistem *software* CAD dan 3D *modeling* secara bersamaan.

Belakangan, muncul pula wacana mengenai tahap berikutnya dari CAD dan BIM, yaitu *Algorithm-Aided Design* (AAD) dan *Algorithm-Aided Building Information Modelling* (AAB) [4]. Basis dari diskusi mengenai AAD dan AAB adalah bagaimana mengkreasi desain dengan bantuan algoritma dan pemodelan berbasis parametrik yang memudahkan perancang dalam menghasilkan desain dengan bantuan komputer.

Pertumbuhan teknologi yang berjalan pesat juga memunculkan urgensi baru yang tidak ada sebelumnya dalam sejarah. Sebagai komoditas, teknologi telah mendorong umat manusia untuk berpikir mendapatkan hal secara instan, cepat, dan murah. Sebagai contoh, telekomunikasi abad ke-21 seakan-akan telah menghapus batasan jarak dengan menyediakan informasi yang terpercaya dan *real-time*. Sehingga, saat ini setiap orang dapat dengan mudah, cepat, dan murah berhubungan dengan orang lain meskipun terpisah jarak yang cukup jauh.

Dalam sistem produksi barang, kecanggihan teknologi telah meringkas waktu perakitan produk. Sebuah pabrik kendaraan dapat membuat sejumlah besar kendaraan hanya dalam hitungan jam. Hal ini mempengaruhi pandangan tentang produksi barang dan jasa yang tampak selayaknya barang pabrikan dan instan. Dengan pendeknya masa produksi, pemangkasan biaya produksi dapat dilakukan, yang pada akhirnya akan membuat harga jual menjadi lebih murah.

Dengan adanya dukungan teknologi yang semakin memudahkan umat manusia, wacana untuk mempercepat produksi juga merambah ke dunia rancang bangun, tak terkecuali di ranah arsitektur. Rekor demi rekor berusaha dipecahkan oleh tim-tim dari seluruh dunia untuk menjadi yang tercepat dalam membangun. Misalnya, pembangunan gedung 10 lantai dalam waktu 48 jam di Mohali, India[5] dan juga konstruksi proyek *Mini Sky City* dengan pembangunan gedung 57 lantai selama 19 hari di Changsha, Tiongkok [6]. Berbagai metode dilakukan untuk menghasilkan bangunan dengan waktu tersingkat yang merupakan upaya untuk menurunkan harga produksi. Hal ini akan menguntungkan, baik kepada pemilik maupun pengguna bangunan.

Penggunaan teknologi robotika dalam dunia rancang bangun telah menjadi wacana lain yang mengemuka belakangan ini. Media internasional mengabarkan secara masif penciptaan printer 3 dimensi yang dapat digunakan untuk membangun model skalatis. Tidak berselang lama, teknologi yang sama berhasil diaplikasikan untuk membangun elemen bangunan dengan skala 1 berbanding 1. Hal ini disambut baik dan diprediksi akan menjadi salah satu metode membangun di masa depan dengan penekanan kepada yang instan, cepat, dan murah[7, 8, 9].

Kombinasi kinerja BIM, AAD, dan robotika dalam lingkup rancang bangun diprediksi akan mengubah pula wajah arsitektur. Otomatisasi desain secara penuh dari tahap perancangan hingga pabrikasi dan konstruksi merupakan mimpi indah bagi umat manusia, yang secara konsisten membutuhkan ruang beraktivitas dengan jumlah yang secara eksponensial terus tumbuh. Namun, wacana tersebut membawa diskusi lain mengenai dampak otomatisasi, terutama dalam lingkup arsitektur.



Gambar 1. Konstruksi Mini Sky City di Changsa, Tiongkok oleh Broad Sustainable Building [6]



Gambar 2. Bangunan 10 lantai dengan waktu konstruksi tercepat di Mohali, India oleh Synergy Thrislington [5]

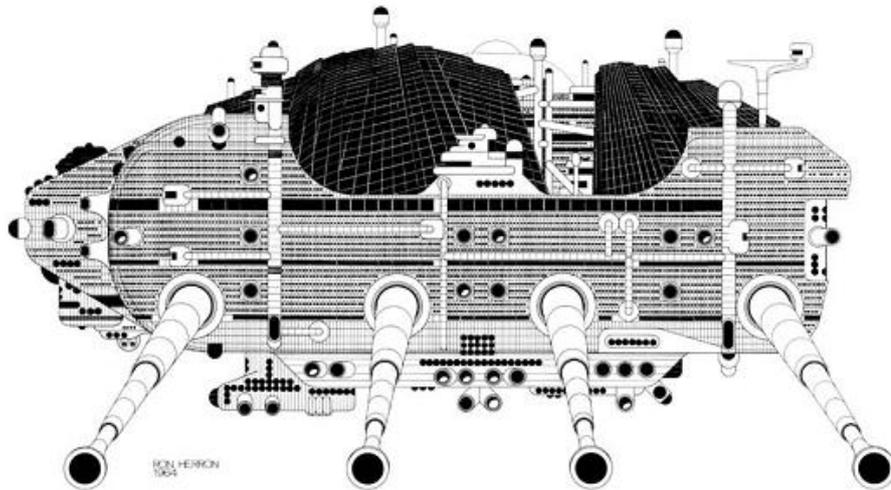
Paperini mendiskusikan tentang prediksi otomatisasi dalam dunia arsitektur pada masa depan dan dampaknya terhadap arsitek. Studi eksperimental menjadi dasar dalam membangun pandangan mengenai masa depan dunia arsitektur. Pembahasan ditekankan terutama dalam hal penggunaan teknologi, baik dalam proses desain hingga pabrikasi dan konstruksi, serta prediksi masa depan arsitek dan arsitektur dalam hubungannya dengan konsep otomatisasi.

STUDIEKSPERIMENTAL DALAM PREDIKSI MASA DEPAN

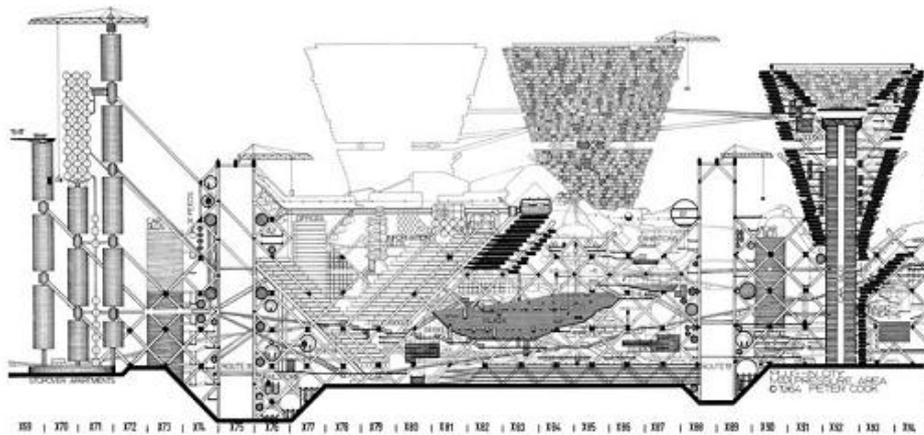
Arsitektur Eksperimental [10] adalah gerakan arsitektur yang mempertanyakan konsep dan batasan yang telah ada, dan dilakukan untuk eksperimen dalam material, teknologi, studi bentuk, metode konstruksi, hingga struktursosial. Dipopulerkan oleh Peter Cook pada tahun 1970 [11], arsitektur eksperimental terjadi sebagai akibat jenuhnya arsitek pada masa tersebut dengan maraknya langgam desain modern yang menggunakan pendekatan deterministik yaitu yang didasarkan pada kepasifan pengguna, dan memprioritaskan hanya kepada fungsi sebagai hasil akhir proses desain arsitektural. Pada dasarnya, gerakan arsitektur eksperimental mengkritisi pendekatan arsitektur, yang di dalamnya, arsitek hanya bertugas mengumpulkan dan menganalisis data proyek, lalu berdasar hasil analisisnya, mengorganisasikan ruang dan mengkomposisikan bentuk arsitektural [11]

Tumbuhnya teknologi komputer dalam arsitektur, dengan CAD-nya, juga mempengaruhi arsitektur eksperimental, yang dianggap mampu membantu arsitek mewujudkan desain yang berbeda serta dapat memberi jalan bagi harapan para arsitek pendukung gerakan tersebut untuk keluar dari praktik desain yang konvensional [11, 12]. Dengan bantuan komputer, batasan daya kognitif manusia dalam menganalisis data dapat diperluas sehingga menghasilkan desain yang tidak menyimpulkan proyek, namun dapat menawarkan kemungkinan-kemungkinan baru [13].

Arsitektur eksperimental, sebagai gerakan, didasarkan pada ide visioner yang kadang dianggap radikal, bersifat pembaruan, aneh, dan seperti di dunia lain. Pada dasarnya, semangat gerakan ini adalah mengembangkan metode merancang khusus dan memasukkan unsur eksperimen, sehingga desain yang diproposalkan nampak seakan tidak nyata [12]. Citra arsitektur eksperimental yang demikian diseminasikan melalui *Archigram*, majalah yang dirilis MIT oleh Cook dan kawan-kawan pada dekade 1960-an. Gambaran yang dianggap paling terkenal dari gerakan ini adalah ide *Walking City* yang diproposalkan oleh Ron Herron dan visi Cook di tahun 1964 yang diberi judul *Plug-In City*, sebuah megastruktur yang dikhususkan untuk sirkulasi kontinyu, dengan fungsinya yang acak, batas-batasnya yang kabur, dan menangguk janji kehidupan kolektif dari pesimisme terkait lingkungan urban di masa depan [12]



Gambar 3. Citra konsep Walking City oleh Ron Herron [14]



Gambar 4. Citra konsep Plug-In City oleh Peter Cook [15]

Lebih lanjut, Sadler [12] menyebutkan bahwa *Archigram* dan gerakan eksperimental arsitektur telah menciptakan sebuah langgam yang mengambil inspirasi dari mana saja – mulai dari fiksi sains, biologi, seni pop, industri manufaktur, peralatan militer, hingga teknologi – yang lalu kemudian digabungkan dengan tren aliran posmodern atau dekonstruktif dari dekade 1970-an sampai dengan 1990-an. Materi tersebut adalah bahan yang dibutuhkan dalam proses eksperimentasi, yang jika diolah dengan tepat, akan mendorong kreasi desain yang tidak biasa.

Oleh karena praktik arsitektur eksperimental berbeda dibandingkan dengan arsitektur konvensional, maka dalam memahami langgam tersebut dibutuhkan proses eksperimentasi. Eksperimentasi, bagi Knutz, Markussen, & Christensen [16], adalah ketrampilan manusia yang penting untuk memahami citra realitas dan validitas dari teori

saintifik mengenai pembentuk dunia yang dikenali. Dalam arsitektur, eksperimen digunakan untuk mengkonstruksi realitas masa depan atau kesempatan untuk mengkontraskan dengan realitas saat ini. Dalam desain, fungsi eksperimentasi dapat sangat luas, diantaranya adalah menguji ide tentang bagaimana membentuk masa depan sesuai yang diinginkan [17]; mengkritisi bagaimana teknologi atau ideologi membatasi keseharian manusia [18]; dan menjadi strategi dalam intervensi untuk mempromosikan perubahan sosial untuk lingkungan urban [19].

Dalam diskusi [16], skenario “*what-if?*” (“bagaimana jika?”) menjadi dasar dalam menafsirkan desain yang berhubungan dengan fiksi. Fiksi yang dimaksud bukanlah kondisi tidak nyata, akan tetapi lebih dalam upaya untuk menggapai pemahaman mengenai yang konseptual dan yang material. Konseptual dalam diskusi ini bermakna

sepenuhnya desain proposal yang bersifat spekulasi yang tidak akan pernah menjadi kenyataan, dan sebaliknya, versi material dapat diartikan sebagai desain fiksi yang sudah memiliki purwarupa ataupun yang masih setengah fungsional [16]. Dengan mempelajari fiksi masa depan, manusia dapat memberi jarak dengan kondisi saat ini supaya dapat mempertanyakan kembali hal-hal yang dianggap lumrah atau telah menjadi bagian dalam keseharian; dan dapat mencari lagi kemungkinan alternatif yang berbeda [20].

Berdasarkan hal di atas, maka dapat disimpulkan bahwa salah satu cara dalam mendiskusikan desain pada masa depan adalah dengan mendefinisikan terlebih dahulu skenario kondisi apa yang diharapkan akan ada untuk desain tersebut. Sehingga dalam kerangka arsitektur eksperimental, situasi dapat menjadi batasan sekaligus potensi yang dapat digali lebih jauh demi menghasilkan gagasan desain.

Dalam memprediksi masa depan, skenario terbaik dan terburuk, keduanya perlu untuk dipertimbangkan. Maka set pertanyaan yang perlu untuk didiskusikan lebih jauh adalah, bagaimana kecenderungan teknologi masa kini dirancang berkaitan dengan proses otomatisasi?; bagaimana jika pada akhirnya profesi arsitek dan konstruktor dalam proses desain dan konstruksi dapat diotomatisasi sepenuhnya oleh kemampuan komputer?; apa dampak yang mungkin terjadi pada profesi arsitek dan konstruktor di masa depan?; dan apakah ada hal yang perlu disiapkan pada masa sekarang terhadap kemungkinan tersebut?

ARSITEKTUR DIGITAL

Dewasa ini dunia arsitektur telah sangat lekat dengan penggunaan media digital dalam mendesain. Baik sebagai media presentasi maupun media proses desain, media digital telah mengubah cara arsitek melakukan pekerjaannya.

Perkembangan arsitektur digital sangat dipengaruhi oleh perkembangan komputer. Tujuan pembuatan komputer pertama lebih menjurus pada perhitungan dengan skala yang cukup besar, seperti perhitungan sensus penduduk, hingga perhitungan ukuran bangunan-bangunan besar [21]. Perkembangan komputer yang sangat cepat mempengaruhi arsitek visioner pada waktu itu untuk menciptakan beberapa alat yang dapat

membantu kinerja arsitek menjadi lebih mudah.

Desain dengan Bantuan Komputer atau biasa disebut *Computer-Aided Design* (CAD) merujuk pada istilah umum untuk semua proses desain yang dibantu komputer. Istilah ini kadang hanya digunakan untuk merujuk kepada metode gambar 2D dengan bantuan komputer (*Computer-Aided Drawing*) karena memiliki akronim yang sama. CAD juga sering dikenal sebagai: Desain Digital [4].

Humppi [4] lebih jauh membedakan antara CAD dan CAAD. *Computer-Aided Architectural Design* (CAAD) adalah istilah yang mengacu hanya kepada bagian dari CAD yang khusus untuk arsitektur. Perangkat lunak CAAD berisi fitur yang lebih mendukung desain arsitektural dibandingkan dengan *software* CAD pada umumnya. Produk *Graphisoft ArchiCAD* dan *Autodesk Revit Architecture* dapat dianggap perangkat lunak CAAD.

Dalam perjalanannya, teknologi digital arsitektur secara umum dibagi menjadi 3 masa, yaitu Masa 2 Dimensi, Masa BIM, dan Masa Desain Komputasi [4].

1. Masa 2 Dimensi

Salah satu produk pertama teknologi dalam arsitektur adalah pengembangan *Sketchpad*. *Sketchpad* merupakan hasil dari disertasi Ivan Sutherland pada tahun 1963 di *Massachusetts Institute of Technology* (MIT). Sutherland mengembangkan *Sketchpad* lebih jauh dan membuat kontak dengan grup penggagas CAD yang berada di MIT [3].

Sketchpad dianggap sebagai salah satu batu pijakan penting dalam dunia komputer selama 4 dekade dan pada tahun 1988 memenangkan *Turing Award* [3]. *Sketchpad* memudahkan untuk menggambar pada layar dengan bantuan *light pen*, gambar juga mudah untuk diduplikasi, sehingga dapat digunakan untuk teknologi pendukung beberapa program komputer pada masanya. *Sketchpad* merupakan teknologi universal yang penggunaannya tidak hanya kalangan arsitek, namun juga digunakan beberapa profesi lain.

Masa CAD 2 dimensi dimulai sekitar dekade 1980-an. Sesuai sejarah yang tercatat, CAD merupakan program komputer pertama yang mengadopsi desain bangunan menjadi gambar 2

dimensi. Namun CAD secara teoritis hanya mengganti media gambar yang awalnya kertas menjadi data komputasi dan sering dianggap gagal dalam memanfaatkan potensi komputer [4].

2. Masa BIM

Berbeda dengan CAD tradisional, BIM (*Building Information Modelling*) merupakan representasi digital dari kondisi fisik dan karakteristik bangunan asli. BIM menawarkan mendesain dengan kompleksitas seperti layaknya bangunan asli [22]. BIM memudahkan proses desain arsitek dalam menentukan bahan hingga struktur yang tepat untuk bangunan tersebut.

Pengembangan BIM telah dimulai pada dekade 1980-an dan saat ini, BIM umum digunakan sebagai metode untuk mengontrol proses desain bangunan. BIM menyediakan kemampuan secara digital untuk mengkoordinasikan proses membangun yang kompleks dari tahap desain hingga kondisi aktual [4]

BIM menurut Humppi [4] adalah sebuah proses desain dengan dibantu komputer yang memanfaatkan objek untuk pemodelan. Dengan demikian, BIM adalah termasuk *Object-Oriented Modelling* (OOM) atau Metode Pemodelan Berorientasi Objek. Semua objek dikendalikan dengan data parameter, yang artinya semua objek terintegrasi dengan informasi parametris di dalamnya. Data-data tersebut didefinisikan menjadi komponen-komponen yang dapat secara logis digunakan dan diubah propertinya [4]. Hal ini bermakna bahwa BIM menyediakan gambaran 3D dari bangunan yang didesain. Proses yang ditempuh melalui desain manual menggunakan gambar kerja yang langsung terhubung dengan gambar 3D. Tidak hanya mengedit pada gambar kerja, BIM menyediakan fitur pengeditan pada gambar 3D secara langsung.

Keuntungan lain yang didapat pada pengguna BIM dibandingkan CAD dalam tahap desain [23] adalah visualisasi desain yang lebih akurat dan cepat; fitur koreksi otomatis saat ada perubahan desain; serta menghasilkan gambar 2D yang lebih akurat dan konsisten pada setiap tahapan desain. Selain itu, BIM memiliki keunggulan dapat lebih dini dalam kolaborasi multidisiplin ilmu desain; kemudahan pengecekan terhadap perubahan desain; kemudahan dalam

kalkulasi rencana anggaran pada tahap desain; serta meningkatkan efisiensi energi dan bangunan yang berkelanjutan [23].

Software yang termasuk dalam BIM dan sering digunakan seperti halnya *Autodesk Revit*, *AutoCAD*, *Ecotect*, *Green Building Studio*, *Robot*, *QTO*, *Buzzsaw*, *Constructware*, dan lainnya. Beberapa alternatif lain BIM ialah *Graphisoft ArchiCAD* dan *MEP Modeler*. Salah satu *software* yang paling mudah ditemukan dan paling mudah digunakan adalah *SketchUp*. [24] Meskipun dianggap memiliki keunggulan dibanding CAD tradisional, penggunaan BIM dikritisi karena pemanfaatannya dalam proses desain sebagian besar hanya bergantung kepada komponen yang sudah disiapkan dalam *software* [25]. Akibatnya, desain bangunan tampak hanya sebatas gabungan dari komponen yang sudah disediakan semata. Selain itu, penggunaan BIM sebagai metode mendesain masih belum memanfaatkan secara penuh kemampuan komputasi dari teknologi komputer [4].

3. Masa Desain Komputasi

Masa Desain Komputasi dimulai sekitar awal tahun 2000-an. Era ini memperkenalkan perbedaan antara deskripsi generatif dari bangunan dan model yang diciptakan [26]. Grafik dan *script* (untuk pemrograman) digunakan pada masa ini untuk menghasilkan desain bangunan. Pemakaian berulang dari *script* memungkinkan desainer mengeksplorasi lebih banyak alternatif dibandingkan metode desain standar [4].

Dalam masa Desain Komputasi, Humppi [4] menekankan perlunya untuk melihat perkembangan yang terjadi dan membaginya dalam 2 sisi yaitu AAD dan AAB, tergantung metode algoritma pemodelan yang digunakan. Pada dasarnya perbedaan AAD dan AAB ialah bahwa *Algorithm-Aided Modelling Design* (AAD) menggunakan algoritma untuk membuat model geometrisnya saja, sedangkan dalam *Algorithm-Aided Building Information Modelling* (AAB) algoritma digunakan untuk membuat model objek yang terintegrasi dengan informasi di dalamnya.

Saat ini AAD dianggap sebagai gerakan baru dalam metode mendesain bangunan yang berfokus untuk menghasilkan geometri. Namun demikian, desain yang

dihasilkan menggunakan AAD tidak memiliki informasi tambahan apapun selain mengenai geometri itu sendiri. Informasi dalam *script* diolah dan menghasilkan model geometri yang tidak mengandung informasi parametris apapun [4].

Berdasarkan konsep aplikasinya, AAB tampak sebagai gabungan antara AAD dan BIM. Pada masa depan gabungan keduanya dianggap berpotensi menawarkan kemungkinan baru dalam desain bangunan karena AAB memproduksi objek sebagai hasil dari proses pemodelan [4]. Pengembangan AAB, menurut Humppi [4], berhubungan lekat dengan perkembangan perangkat digital yang memungkinkan integrasi antara AAD dan BIM. Dukungan komunitas yang ada dapat dimanfaatkan untuk menyebarkan informasi dan mengembangkan perangkat baru yang dapat membantu pencarian solusi alternatif dalam mendesain.

Pada masa sekarang, diskusi AAD dan AAB masih berpotensi untuk dikembangkan ke dalam cakupan otomatisasi. Dalam konsep pengembangan di masa depan, proses mendesain, selain dituntut untuk dapat menjadi indah secara estetis, perlu pula untuk dapat cepat menghasilkan alternatif desain yang tanggap terhadap kondisi, baik dalam hal performa bangunan yang didesain itu sendiri maupun lingkungan sekitarnya.

Eksplorasi alternatif desain yang beragam dalam proses desain konseptual dianggap penting karena dalam penerapannya, adalah tidak mungkin mengembangkan solusi yang tepat hanya dengan satu kali usaha [27]. Ada 2 keuntungan sehubungan dengan eksplorasi alternatif desain menurut Woodbury & Burrow [28], yang pertama yaitu bahwa dengan adanya eksplorasi alternatif, maka kekurangan dan hal-hal yang tidak dipertimbangkan sebelumnya dalam desain akan tampak. Hal-hal yang sebelumnya tidak tampak tersebut kemudian dapat diinvestigasi lebih jauh untuk memperbaiki desain akhir.

Keuntungan yang kedua adalah bahwa dengan adanya eksplorasi alternatif desain yang beragam dapat memunculkan komparasi antar desain [28]. Perbandingan yang ada memerankan titik penting dalam memahami apakah sebuah desain memenuhi kriteria-kriteria desain yang diharapkan dan menjadi pilihan dibandingkan dengan beberapa desain lain yang menjadi pertimbangan. Proses ini dianggap penting agar desain tidak begitu saja

diklaim sebagai yang terbaik dalam memenuhi kriteria yang diminta.

Turrin, Buelow, & Stouffs [29] mengkritisi bahwa dalam proses desain arsitektur tradisional, praktik menyediakan eksplorasi alternatif desain yang beragam kurang diminati. Arsitek pada umumnya hanya mengeksplorasi sebagian kecil kandidat desain yang berakibat pada kebanyakan proses desain hanya berfokus pada kemungkinan desain yang relatif sempit. Hal ini terjadi disebabkan antara lain oleh keterbatasan waktu dan batasan kognitif [29].

Keterbatasan yang ada tersebut dapat diatasi dengan adanya teknologi komputer. Seperti yang telah disampaikan di depan, bahwa dengan berkembangnya kemampuan memproses data pada komputer, maka proses pencarian alternatif desain dapat dikerjakan dengan lebih cepat dan dapat menghasilkan alternatif yang lebih kompleks.

Secara konseptual, semua informasi yang dibutuhkan dalam mendesain dapat dikonversi menjadi data parametris. Semua batasan dan arahan desain, modul dan standar ukuran, perilaku manusia, serta kondisi lingkungan dan properti, pada dasarnya merupakan informasi logis yang dapat diubah menjadi data numerik. Data numerik tersebut menjadi input dalam proses pemodelan parametrik yang dapat diprogram untuk diolah secara otomatis, sehingga akan menghasilkan alternatif solusi desain yang lebih luas [29].

Pada masa yang akan datang, dengan adanya dukungan komunitas, lompatan kecanggihan teknologi, peningkatan kemampuan komputasi, dan perkembangan perangkat lunak yang memadai, otomatisasi dalam proses desain akan tumbuh secara signifikan. Meskipun demikian, perlu pula untuk disadari bahwa peran arsitek sebagai profesi pada masa tersebut akan berubah dibandingkan dengan saat ini. Pada masa tersebut otomatisasi akan mengubah lingkup pekerjaan dan profesi menjadi hal yang mungkin sama sekali berbeda dibandingkan dengan apa yang ada pada saat ini.

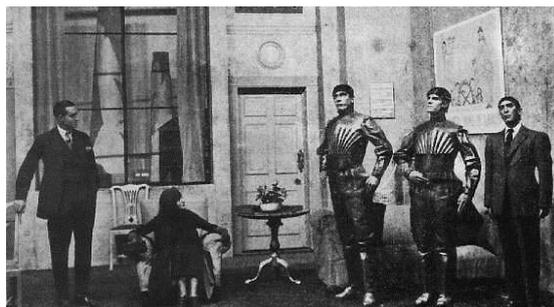
ROBOTIKA, OTOMATISASI, DAN METODE KONSTRUKSI NIRAWAK

Sejak umat manusia ada, ide untuk menciptakan peralatan dan perkakas yang memudahkan kehidupan adalah bagian dari insting manusiawi. Setelah lebih mengenal kemajuan teknologi, manusia semakin

terdorong untuk menciptakan dan menemukan cara agar peralatan yang digunakannya dapat bekerja sendiri tanpa bantuan manusia lagi, sehingga manusia tersebut dapat melakukan hal lain yang membuatnya lebih produktif. Berkenaan dengan hal tersebut, muncul konsep *automata* atau benda tak bernyawa yang dapat bergerak independen. Ide ini telah ada sejak Zaman Romawi kuno, dan masih terus dikembangkan hingga saat ini[30].

Otonomi, menurut Bekey [31], adalah kapasitas untuk beroperasi dalam lingkungan dunia luar tanpa adanya bentuk kontrol eksternal apapun selama waktu yang panjang. Konsep mengenai otonomi sering dipertentangkan terutama pada batasan apakah cukup dengan 'berpikir' saja, sebuah mesin dapat dianggap memiliki otonomi. Lin, Bekey, & Abney [32] berpendapat bahwa dengan hanya memiliki kemampuan memproses data dan informasi saja, sebuah mesin belum cukup dianggap memiliki otonomi. Sebuah mesin dianggap memiliki otonomi ketika mampu 'berpikir' dalam arti, mesin tersebut mampu melaksanakan proses pengambilan keputusan yang tidak dipengaruhi pengontrol dari luar, yang mana membuat mesin terlihat mampu berpikir secara bebas, jika bukan kemampuan secara sadar membuat dan mengambil pilihan dalam bertindak.

Robotics (Robotika) adalah istilah yang pertama kali digunakan oleh Asimov[33] pada tahun 1942 yang menggambarkan sebuah konsep ilmu pengetahuan yang mempelajari tentang robot. Sedangkan kata *Robot* pertama kali dipopulerkan oleh Karel Capek[34] pada 1921, yaitu dalam sebuah pementasan teatrikal berjudul *R.U.R. (Rossumovi Univerzální Roboti)* di Praha, Cekoslowakia, tentang automata menyerupai manusia dengan kecerdasan. Konsep robot berasal dari Bahasa Slavik, *robot*, yang berarti *labor* atau buruh, yaitu tentang konsep tenaga kerja yang cerdas dan murah dengan kemampuan melebihi manusia pada umumnya, yaitu tanpa mengenal emosi, rasa lapar, haus, letih, dan membutuhkan istirahat.



Gambar 5. Adegan interaksi antara manusia (kiri) dan robot (kanan) dalam R.U.R. oleh Karel Capek [34]

Dalam visi Capek, robot tidak digambarkan sebagai alat mekanikal, namun lebih berbasis biologis dan mirip seperti android. Seiring berjalannya waktu, konsep mengenai robot berevolusi dengan penggunaan teknologi futuristik dan lebih bersifat mekanikal. Di tangan Asimov, robot yang merupakan benda mati mekanik yang memiliki semacam Kecerdasan Buatan (*Artificial Intelligence/AI*) hingga tampak sebagai sebuah bentuk kehidupan baru. Dalam ranah fiksi-sains pada pertengahan abad ke-20, visi mengenai mesin yang memiliki kecerdasan mencerminkan harapan terhadap teknologi dan masa depan. Asimov sendiri ikut mengembangkan prinsip otomatisasi dan mengeksplorasi implikasi dan dampak yang mungkin muncul sebagai akibat dari berkembangnya teknologi tersebut[30, 32]

Kurang dari seabad kemudian, prinsip robotika telah menjadi hal yang umum. Meskipun demikian, pondasi dasar pengembangan robot sampai dengan saat ini tidak terlepas dari penelitian lain terutama dalam bidang Matematika, Elektronika, Mekanika, dan AI. Kemajuan dalam bidang-bidang tersebut secara kolektif mempengaruhi bagaimana teknologi secara umum dikonstruksikan.

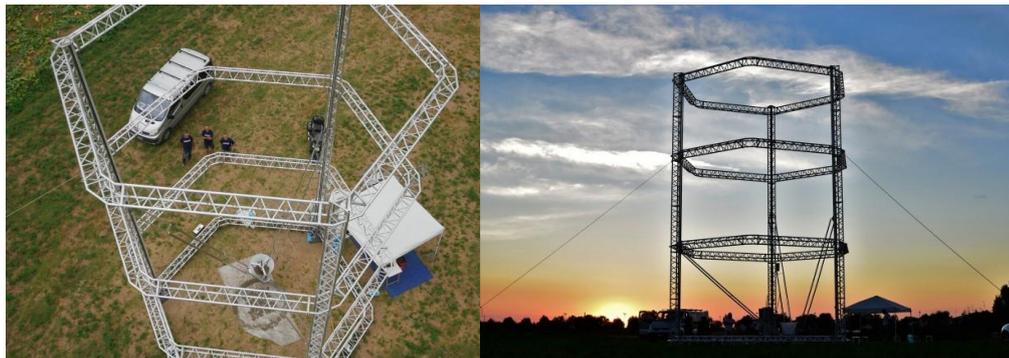
Pada abad ke-21 ini AI telah sangat canggih. Salah satu capaian program AI yang telah mengubah pandangan dunia tentang teknologi adalah dengan dikalahkannya *Grandmaster* Catur Dunia, Garry Kasparov, oleh komputer buatan IBM, *Deep Blue*, pada tahun 1997 [35]. Baru-baru ini program AI bernama *AlphaGo* yang dikembangkan oleh perusahaan *Google-DeepMind* berhasil mengalahkan Lee Sedol, *Grandmaster* Go profesional dalam permainan 'Go', yaitu semacam catur yang berasal dari Jepang yang sering disebut lebih rumit dari catur Eropa, dengan skor 4-1 untuk kemenangan *AlphaGo*[36]

Saat ini AI telah difusikan ke dalam robotika. Hal inilah yang semakin memperkuat citra robot sebagai mesin pintar. Dalam definisi yang disampaikan Lin, Bekey, & Abney [32], robot adalah mesin bertenaga yang memiliki karakteristik mampu merasakan, berpikir bebas, dan bertindak. Fitur robot yang utama ialah robot mampu melakukan gerakan danditidak akan membawa operator manusia. Selain itu, robot dapat dioperasikan semi ataupun sepenuhnya otomatis, akan tetapi tidak bergantung sepenuhnya pada kontrol manusia.

Robot yang demikian, pada saat ini dalam tahap pengembangan terutama untuk aplikasi militer dengan diciptakannya teknologi *unmannedmilitary vehicle* (kendaraan militer nirawak, nir = tanpa; awak = pengendali). Pengembangan robot nirawak juga dilakukan dalam ranah iptek secara umum. Baik

penerapannya dalam militer dan umum, robot nirawak diciptakan dengan tujuan untuk mengurangi korban manusia dalam peperangan[37]atau eksplorasi iptek di area yang berbahaya dan tak terjangkau manusia seperti zona laut dalam dan perjalanan antariksa[38, 39]

Mesin dengan kemampuan serupa telah dikembangkan dalam dunia konstruksi. Hampir sama dengan prinsip mesin cetak konvensional untuk media 2 dimensi, beberapa tahun belakangan muncul teknologi alat cetak 3 dimensi untuk mencetak model skalatis dari data digital ke dalam bentuk benda 3 matra. Pengembang di seluruh dunia menggunakan teknologi tersebut untuk membangun rumah dengan harga terjangkau dan menargetkan kecepatan dalam proses konstruksi[40, 41].



Gambar 6. Printer 3D untuk mencetak bangunan yang dikembangkan tim WASP (World's Advanced Saving Project) dari Italia [41]



Gambar 7. Bentuk robot "Hadrian" yang dikembangkan oleh Fastbrick Robotics [44]



Gambar 8. Bentuk robot "SAM" (semi-automated mason) yang dikembangkan oleh Construction Robotics [45]

Saat ini telah dibangun pula mesin yang dapat membantu konstruktor dalam menyusun batu bata. Beberapa perusahaan, seperti *Fastbrick Robotics* yang berbasis di Australia dan *Construction Robotics* yang berbasis di Amerika Serikat, mulai memasarkan sejumlah mesin yang dapat melakukan imitasi aktivitas menyusun batu bata dengan keunggulan yang lebih besar dibandingkan metode konvensional [42, 43].

Mesin-mesin tersebut diklaim dapat bekerja kolaboratif dengan tukang; mengurangi biaya produksi dan instalasi; meningkatkan produktivitas; memperbaiki proses perencanaan dan alokasi kerja; mengurangi resiko kesehatan dan keselamatan kerja; memperpanjang masa karir; serta menawarkan tingkat akurasi dan ketepatan yang tinggi [42, 43]. Pada tahap ini manusia masih berperan penting sebagai operator dalam mengoperasikan mesin tersebut. Meskipun demikian, hal ini tentu saja mengurangi porsi penggunaan tenaga manusia dalam proses konstruksi secara keseluruhan [46, 47].

Aplikasi teknologi serupa masih dapat dikembangkan lebih jauh. Dengan munculnya kemajuan di bidang AI dan robotika, bukan tidak mungkin metode membangun konvensional yang menitikberatkan pada kemampuan fisik manusia saat ini akan tergantikan sepenuhnya dengan kemampuan mesin.

Kekhawatiran digantikannya manusia dengan robot telah sejak awal muncul bersama dengan diperkenalkannya kata tersebut. Pada akhir pementasan Capek, digambarkan robot melakukan pemberontakan terhadap manusia dan menghapus seluruh umat manusia yang ada di bumi. Berdasarkan kekhawatiran tersebut, Asimov, yang berkarya setelah masa Capek, dengan sangat hati-hati merumuskan program kode etik robotika yang memungkinkan robot untuk tidak melakukan tindakan yang membahayakan bagi manusia [30, 32].

Meskipun pada masa depan robot tidak mengambil alih posisi spesies tertinggi dari manusia. Namun bukan berarti teknologi tidak dapat mengambil alih pekerjaan dari manusia. Pengamat bahkan menyebut bahwa AI sudah mengambil alih pekerjaan manusia, hanya saja manusia tidak sadar akan hal tersebut [48].

Data terbaru menyebutkan bahwa teknologi meningkatkan produktivitas dan meningkatkan ekonomi di Amerika Serikat. Meskipun

demikian, peningkatan produktivitas tidak disertai dengan penambahan jumlah pekerjaan. Tingkat partisipasi pekerja, yang mana menentukan porsi keaktifan tenaga kerja dalam pekerjaan, telah menurun sejak tahun 1990-an [49].

Beberapa hal yang perlu menjadi perhatian dalam hubungan antara AI, robotika, dan pekerjaan manusia dalam prediksi pada tahun 2025 [50], antara lain, adalah saat ini otomatisasi telah menghantam posisi pekerja kerah biru dalam ranah pekerjaan manual, dan bukan tidak mungkin kemunculan inovasi teknologi baru akan mengancam pekerjaan kerah putih pada masa depan. Meskipun demikian, pekerja dengan keahlian tinggi akan sukses di lingkungan teknologi baru ini –tetapi, mungkin banyak pekerja lain yang akan mengalami perubahan pola kerja dengan hanya menjadi buruh pada pekerjaan industri pelayanan bergaji kecil, atau bahkan mungkin akan sepenuhnya dirumahkan. Selain itu, sistem pendidikan tidak mempersiapkan secara cukup untuk jenis pekerjaan masa depan, sedangkan institusi ekonomi dan politik juga tidak dilengkapi perangkat yang cukup untuk mengatasi pilihan yang berat tersebut [50].

Padahal, dalam laporan yang dirilis *International Labor Organization (ILO)* tahun 2001 menyebutkan bahwa pekerjaan konstruksi memiliki karakteristik sebagai pekerjaan yang tidak membutuhkan sekolah atau pendidikan sebelumnya. Hal ini merupakan fenomena yang terjadi di seluruh dunia. Survei yang dilakukan di India, Tiongkok, Brazil, dan Afrika menyebutkan bahwa karakteristik pekerja konstruksi di negara tersebut secara umum adalah mereka yang berusia muda, berasal dari bagian masyarakat kurang mampu, kurang berpendidikan, dengan angka buta huruf tinggi, dan banyak di antaranya merupakan pekerja migran dari kawasan rural [51].

Dalam studi terkini, Chang & Huynh [52] melaporkan bahwa dalam penelitian di 5 negara ASEAN (*Association of Southeast Asian Nations*), yaitu Thailand, Indonesia, Vietnam, Filipina, dan Kamboja, ada sekitar 56% dari seluruh pekerjaan di kawasan tersebut berada di zona risiko tinggi digantikan oleh teknologi dalam satu atau dua dekade ke depan. Di kelima negara tersebut, sektor industri penting yang memiliki kapasitas tinggi untuk otomatisasi adalah industri hotel dan restoran; perdagangan grosir dan eceran; konstruksi; dan manufaktur atau pabrikasi [52].

Kaum wanita adalah yang paling banyak bekerja di sektor yang memiliki risiko tinggi untuk diganti dengan otomatisasi. Selain itu, di kelima negara ASEAN tersebut, Chang & Huynh [52] menemukan bahwa pekerja dengan pendidikan rendah dan pekerja yang mendapat gaji rendah adalah yang paling rentan terhadap otomatisasi. Studi tersebut juga menyebutkan sekitar 1,7 juta pegawai toko di Indonesia adalah pekerja yang paling berisiko tinggi digantikan otomatisasi. Sebaliknya, 1,9 juta pengajar tingkat dasar dan profesional adalah yang berisiko paling rendah digantikan otomatisasi di Indonesia [52].

Hal ini patut menjadi perhatian karena dengan kemajuan teknologi, pekerjaan yang bersifat repetitif akan sangat mudah tergantikan pada masa depan. Meskipun demikian, Frey & Osborne [53] berpendapat bahwa saat ini teknologi telah memungkinkan untuk melakukan otomatisasi hampir semua pekerjaan, jika disediakan cukup data yang dihimpun terkait untuk pengenalan pola (*pattern recognition*). Pendapat tersebut dapat dimaknai bahwasenaga manusia yang tinggi biaya produksi, berpotensi risiko tinggi, dan dapat melakukan kesalahan, akan dengan mudah digantikan oleh hal lain yang lebih murah, dengan biaya produksi rendah, minim risiko, serta presisi.

Tren pergantian dari pekerja manusia menjadi pekerja mekanik ini tentunya akan melengkapi wacana yang sudah didiskusikan di awal. Jika pada masa yang akan datang teknologi telah berhasil melakukan imitasi pada proses desain, dan metode konstruksi telah dapat sepenuhnya dilakukan oleh mesin mekanikal, maka bukan tidak mungkin dunia arsitektur dan konstruksi akan sepenuhnya berubah. Kemampuan otak manusia dalam mendesain akan digantikan kemampuan mikrochip prosesor, sedangkan otot manusia dalam mengkonstruksi bangunan akan digantikan logam dan kabel-kabel.

Metode konstruksi nirawak akan menjadi pemain utama apabila manusia telah menyempurnakan sistem AI yang dibutuhkan. Pekerjaan yang bersifat berulang-ulang dan monoton adalah yang akan paling dahulu dan paling mudah digantikan sebagaimana prinsip kerja ban berjalan di bengkel perakitan mobil. Pada masanya, bangunan akan semakin mudah, murah, dan cepat dibangun dengan sedikit atau mungkin bahkan sama sekali tanpa adanya campur tangan manusia.

OTOMATISASI TOTAL DALAM ARSITEKTUR, SEBUAH REFLEKSI

Proses otomatisasi akan mengubah profesi pada masa yang akan datang. Akan tetapi, menurut prediksi Wagner [54] meskipun pada saat itu lansekap profesi akan banyak berubah, manusia akan menemukan cara kreatifnya sendiri untuk menggunakan keahlian dan ketrampilannya demi mendapatkan pekerjaan. Dengan optimis, Tucker [55] menyebutkan "*Disruptive technologies like automation and information technology will destroy the jobs as surely as they create new ones.*" Munculnya teknologi yang dianggap mengacaukan tatanan, pada gilirannya akan benar-benar menghancurkan pekerjaan yang lama dan pada saat yang sama akan menciptakan pula pekerjaan yang baru.

Ada 3 pendekatan dasar yang mungkin dilakukan dalam menghadapi kondisi tersebut, yaitu menambahkan keahlian baru pada pekerjaan yang sudah ada (*retrofitting*); menggabungkan ketrampilan dan kegunaan dari pekerjaan atau industri yang berbeda demi menciptakan spesialisasi baru (*blending*); dan membantu penyelesaian masalah yang dihadapi pada kondisi masa depan sebagai akibat munculnya kebutuhan-kebutuhan baru (*problem solving*) [54].

Diskusi mengenai apakah profesi arsitek akan dapat digantikan oleh mesin telah banyak dilakukan. Baik Grozdanic [56] maupun Davis [57] banyak merujuk pada penelitian Frey & Osborne [53] tentang pekerjaan mana saja yang sangat rentan digantikan komputer. Arsitek berada di ranking 82 dari 700 pekerjaan yang diteliti dan hanya memiliki probabilitas 0,018 dapat digantikan oleh komputer dalam penelitian tersebut. Sedangkan profesi tukang berada di posisi yang cukup rendah dalam menghadapi kemungkinan digantikan kemampuan komputer, yaitu di kisaran ranking 455 dengan probabilitas mencapai 0,82.

Secara universal, antara satu pekerjaan dan yang lain akan saling mempengaruhi. Seperti halnya rantai makanan, bila ada salah satu spesies yang hilang ataupun digantikan, maka akan mengubah tatanan rantai dan terjadi perubahan yang cukup kompleks. Pandangan ini sebenarnya mirip dengan prediksi Wegner [45]. Penggantian tenaga kerja manusia menjadi robot dapat mempengaruhi pekerjaan lain yang berhubungan dan pekerjaan yang digantikan. Perubahan yang terjadi dapat

berupa perubahan yang baik maupun perubahan yang bersifat merusak.

Tanpa adanya otomatisasi pun, saat ini profesi arsitek sedang dihantam kondisi yang kurang menguntungkan. Menurut laporan yang dirilis oleh RIBA (*Royal Institute of British Architects*) [58], resesi ekonomi global saat ini mengguncang profesi arsitek di Inggris. Di tengah persaingan dengan pekerja murah dari negara berkembang dan konsultan besar, arsitek perlu untuk dapat mengembangkan layanannya tidak hanya sebatas desainer, namun sekaligus sebagai *problem solver*.

Hal lain yang mengkhawatirkan adalah kebutuhan layanan arsitek di Inggris telah menurun hingga 40% sejak 2008 dan diprediksi pula arsitek pada masa depan akan dipaksa untuk mampu bergerak di bidang industri konstruksi lain, selain desain. Sedangkan perusahaan jasa arsitek yang tetap stabil adalah praktik arsitek lokal, arsitek bintang berskala internasional, praktik spesialis *niche*, dan praktik berbasis penyedia jasa tradisional [58].

Laporan RIBA menyinggung pula tentang pendidikan arsitek yang semakin eksklusif dan terpisah dari industri secara umum [58]. Hal ini membuat arsitek kurang menyadari posisinya sebagai bagian dari industri konstruksi, sementara pada umumnya arsitek meletakkan dirinya sebagai bagian dari sektor kreatif. Padahal kontribusi ekonomi personal dari sektor kreatif dianggap kurang menguntungkan dibandingkan dengan dari sektor konstruksi. Sehingga, RIBA menyarankan agar arsitek dapat lebih terbuka dengan ketrampilan baru termasuk di bidang finansial dan industri secara luas [58].

Frey & Osborne [53] berpendapat hampir semua pekerjaan dapat diotomatisasikan kecuali untuk 3 tugas tertentu. Berdasarkan karakter tugas yang tidak bisa diotomatisasikan tersebut, 9 variabel digunakan Frey & Osborne [53] dalam mengklasifikasikan pekerjaan. Pertama adalah tugas mengenai persepsi dan manipulasi yang meliputi kelincahan jari-jemari; kelincahan manual; serta kerja di ruang sempit. Kedua adalah tugas kecerdasan kreatif yang meliputi orisinalitas; dan seni murni. Sedangkan yang ketiga adalah tugas kecerdasan sosial yang meliputi persepsi sosial; negosiasi; persuasi; serta membantu dan merawat orang lain.

Berdasarkan kategori tersebut, salah satu kemampuan yang wajib dimiliki arsitek namun tidak mungkin untuk digantikan dengan

komputer adalah kecerdasan kreatif dalam mendesain. Akan tetapi, jika kembali menilik ke perkembangan teknologi yang ada, bukan berarti kecerdasan kreatif pada masanya tidak dapat diimitasi oleh komputer. Oleh karena itu, arsitek pada masa kini perlu untuk mengenali dan mempersiapkan diri dengan 3 pendekatan seperti yang diproposalkan Wagner [54] demi menghadapi otomatisasi pada masa depan.

Dalam prediksi tentang pekerjaan pada 2030 [59, 60], setidaknya ada 1 profesi baru sehubungan dengan arsitektur yang mungkin akan muncul terkait perkembangan teknologi. *Augmented Reality Architect* (arsitek realitas yang diperluas) adalah pekerjaan sehubungan dengan arsitektur yang diprediksikan akan memiliki deskripsi pekerjaan yaitu mendesain bangunan dengan perangkat *Augmented Reality* (AR). Teknologi AR merupakan teknologi yang dapat memperluas kemampuan visual manusia yang diprediksi akan membantu melihat dunia dengan persepsi yang berbeda. Artinya, pekerjaan Arsitek AR dapat dianggap sebagai bentuk *retrofitting* terhadap profesi arsitek. Pada dasarnya, proses kreatif masih berada di tangan arsitek, namun ada keahlian baru yang dapat dimanfaatkan untuk membantu proses desain dalam kurun waktu kurang dari dua dekade ke depan.

Pekerjaan arsitek pada masa depan dengan karakteristik *blending* dan *problem solving* belum banyak didiskusikan sebelumnya. Salah satu prediksi pekerjaan yang menggabungkan 2 keahlian pada masa depan adalah semacam Desainer AI untuk Perangkat Lunak Arsitektural (*AI Designer for Architectural Software*). Pengembangan perangkat lunak arsitektural dengan otomatisasi tidak hanya membutuhkan pemikiran logika programmer handal, namun juga perlu sentuhan artistik seorang arsitek. Pada masa sekarang ini, pengembang *software* adalah tim yang terdiri dari arsitek dan programmer, namun kebutuhan untuk adanya seorang atau sebuah tim yang terdiri dari arsitek sekaligus programmer tidak dapat dipungkiri akan muncul dari perusahaan desain dan konstruktor.

Faktor pendorongnya antara lain adalah mahalnya harga *software* dan lisensi untuk korporasi yang dikeluarkan vendor besar yang dapat berpotensi mengurangi keuntungan perusahaan. Selain itu, permasalahan hukum terkait orisinalitas desain yang terekam dalam media digital akan menjadi hal yang dapat mengancam pada kurun waktu satu sampai dua dekade ke depan. Oleh karena itu,

kebutuhan untuk menggunakan *software* yang dapat meminimalisir tindakan klaim sepihak dan plagiarisme sebuah karya arsitektur akan semakin meningkat.

Hal ini dapat pula memunculkan profesi baru, yaitu semacam Arkeolog Digital Arsitektur (*Digital Architecture Archeologist*). Pekerjaan ini serupa arkeolog yang mencari temuan dalam data arsitektur lama yang berbentuk digital dan sudah berubah bentuk, serta berupaya untuk membuktikan bahwa sebuah desain adalah milik satu pihak yang berseteru di persidangan. Karakteristik *blending* antara arsitek, programmer, dan praktisi hukum dapat menjadi profesi baru pada masa yang akan datang.

Sesempurna apapun program AI yang diciptakan manusia, akan selalu ada kemungkinan untuk AI melakukan kesalahan. Pada masa depan yang jauh – dalam skenario terburuknya, yaitu – saat AI dan robotika sudah mampu untuk menggantikan profesi arsitek dan konstruktor, maka tugas perawatan perangkat lunak dan keras mesin canggih tersebut akan jatuh ke tangan manusia. Seorang *Automaticecture Assistant* (Asisten Otomatiktecture; gabungan *Automatic* dan *Architecture*) akan bertugasmembantu menyelesaikan permasalahan yang muncul akibat otomatisasi desain yang kurang tepat. Selain itu, profesi inilah yang bergerak lebih dahulu dalam penelitian pengembangan AI arsitektural dan pelaksana perawatan berkala mesin canggih tersebut. Deskripsi tersebut dapat dilihat sebagai bentuk profesi yang bergerak dalam *problem solving* pada masa depan.

Pada masa depan yang jauh, arsitek juga dituntut untuk mampu menyelesaikan masalah sosial yang terjadi akibat perubahan global dalam hubungannya dengan perkembangan teknologi. Seorang arsitek perlu juga untuk mampu untuk memahami dan menjadi penghubung antar manusia, serta melakukan inovasi terkait ruang beraktivitas. Seorang *Space Planner* (Perencana Ruang) pada masa depan perlu untuk dapat menguasai dan menaklukkan batasan-batasan dalam metode membangun, baik di muka bumi maupun di tempat yang tidak biasa, seperti halnya kondisi pada planet lain. Dalam skenarionya yang terbaik, seorang arsitek manusia akan sangat terbantu dalam menyelesaikan permasalahan desain dengan alternatif solusi terbaik yang dapat direkomendasikan kepadanya oleh mesin berkecerdasan. Hal ini merupakan bentuk *problem solving* lain dalam profesi

arsitek pada kurun waktu lebih dari dua dekade ke depan.

Dalam skenario terburuk pada masa depan, profesi arsitek dan konstruktor akan sepenuhnya digantikan oleh mesin berkecerdasan. Pada masanya AI akan menggantikan peran arsitek dan konstruktor dalam mendesain dan membangun dengan mengeliminasi segala kekurangan yang dimiliki manusia. Sebaliknya, dalam skenario terbaik, manusia dapat bekerja berdampingan dengan AI dalam desain dan konstruksi bangunan. Segala kekurangan manusia akan dikurangi sampai batas tertentu atau bahkan ditutup samasekali dengan adanya AI.

Bagaimanapun skenario yang mungkin terjadi tersebut, ada 1 hal penting yang perlu untuk selalu diingat. Bahwa 2 kondisi tersebut dapat terjadi sebagai pencapaian tertinggi umat manusia. Hal ini sejalan dengan pandangan Saletan [35] merujuk atas keberhasilan komputer mengalahkan manusia dalam permainan catur.

“In the big picture, whether the computer beats us isn't important. Either way, it's a human triumph. In fact, it's a greater human triumph when the computer wins, because the only thing harder than outsmarting a computer is figuring out how it got outsmarted and teaching it to recognize that kind of trap next time, when you won't be there to coach it. As a player, you can conceive a brilliant move without understanding where it came from. As a programmer, you have to do something much harder: articulate rules that will generate such brilliance.” [35]

Selain itu, adalah pencapaian tertinggi manusia pula, bahkan jika pada akhirnya sebuah bangunan dapat didesain dan dikonstruksi sepenuhnya oleh mesin. Karena bagaimanapun, arsitektur dan bangunan hanya dapat digunakan oleh manusia, dan dikatakan berfungsi jika bisa dimanfaatkan sepenuhnya oleh manusia. Tanpa adanya manusia yang memanfaatkannya, maka bangunan hanya akan menjadi sekadar tumpukan bata dan semen, hanya sebatas kumpulan batu dan kayu, atau gabungan tak bermakna dari material bangunan yang ada.

Adalah sebuah mimpi indah jika robot nirawak cerdas dapat dilepas di kawasan yang baru saja tertimpa bencana, lalu kemudian secara otomatis mendesain dan membangun bangunan dari bahan seadanya dalam kondisi yang serba terbatas bagi para penyintas yang

bertahan hidup. Setidaknya, satu kebutuhan dasar berupa tempat bernaung bagi para penyintas dapat terpenuhi ditengah hiruk-pikuk kekacauan dalam kondisi pascabencana.

Dalam kondisi konflik, skenario serupa juga dapat diaplikasikan. Robot nirawak yang mampu otomatis mendesain dan membangun bagi pengungsi akibat konflik merupakan angin segar ditengah kondisi yang serba tidak memungkinkan. Sedangkan dalam skenario eksplorasi luar angkasa, jika pada masa depan manusia berhasil melakukan kolonisasi di planet lain, maka robot cerdas nirawak yang dibekali keahlian mendesain dan membangun akan sangat membantu manusia ketika dilepaskan di kawasan ekstrim luar bumi untuk melaksanakan tugasnya menciptakan area tinggal yang aman.

KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

Diskusi mengenai prediksi masa depan adalah diskusi yang kuno. Akan tetapi, selama manusia masih terbatas dengan waktu dan usia, maka masa depan tidak akan pernah habis sebagai inspirasi untuk didiskusikan.

Sebagaimana yang didiskusikan pada bagian sebelumnya, bahwa ada prediksi yang dapat terjadi terkait skenario masa depan otomatisasi arsitektur dan konstruksi. Baik pada skenario yang terbaik maupun terburuk, arsitektur akan bermetamorfosis menjadi lingkup pekerjaan yang baru, dengan segala kelebihan dan kekurangannya. Pada diskusi ini memang tidak disinggung mengenai perkembangan teknologi lain – seperti internet yang sangat berpengaruh belakangan ini, – studi desain, serta aspek-aspek lain mengenai kehidupan sosial dan lingkungan beserta dampaknya dalam perspektif arsitektur. Diskusi dalam lingkup perkembangan teknologi digital dan robotika baik dari arsitektur maupun konstruksi dianggap telah cukup luas untuk dibahas.

Beberapa hal dapat dipetik dari diskusi di bagian sebelumnya, antara lain dengan melakukan eksperimen desain, konstruksi realitas dapat ditelisik kembali. Dengan mempertanyakan ide yang dianggap umum dan mengkritik teknologi dan ideologi yang sekarang ada, manusia dapat merumuskan kembali kemungkinan alternatif lain dalam hubungannya dengan kondisi masa depan.

Pertumbuhan teknologi yang terjadi selain tidak dapat dihindarkan, juga memunculkan banyak kemungkinan baru. Profesi muncul dan

tergantikan seiring kebutuhan manusia dan perkembangan teknologi. Karena dalam waktu dekat otomatisasi akan mulai menggantikan profesi yang berbasis tindakan repetitif dan imitasi kekuatan fisik manusia, sehingga strategi bertahan dalam menghadapi kondisi tersebut adalah dengan menguasai keahlian berbasis kognitif. Hal ini dapat ditempuh dengan mengembangkan ketrampilan baru yang dapat memperluas profesi yang sudah ada.

Hal ini dapat diartikan bahwa pada masa kini, institusi pendidikan dan politik perlu untuk mempersiapkan diri dalam menghadapi masa depan dalam hubungannya dengan otomatisasi. Institusi pendidikan arsitektur perlu lebih membuka diri pada disiplin ilmu lain, terutama yang berhubungan dengan teknologi dan industri. Hal ini bukan berarti perlu untuk mengurangi aspek kreatif dalam pendidikan arsitektur, yang mana merupakan dasar ketrampilan yang sangat dibutuhkan seorang arsitek, namun lebih dalam membuka kesempatan diskusi yang terkait antara desain dan teknologi.

Dalam otomatisasi, pemahaman mendalam terkait teknologi digital adalah inti dalam menyusun program untuk dapat mewujudkannya. Sehingga, hubungannya dengan konteks otomatisasi arsitektur, salah satu jalan yang dapat ditempuh arsitek untuk mempersiapkan kondisi masa depan adalah dengan mempelajari lebih dalam ketrampilan pemrograman digital. Profesi *niche* yang timbul dari fusi antara dua ketrampilan khusus adalah salah satu karakteristik profesi yang akan bertahan menghadapi perubahan global terkait otomatisasi.

Pada akhirnya, apakah nantinya otomatisasi mampu mengubah lansekap profesi secara global, hanya waktu yang dapat membuktikannya. Apapun yang terjadi, hal tersebut dapat mewujudkan sebagai puncak tertinggi capaian umat manusia dalam bidang iptek. Otomatisasi dalam arsitektur perlu dilihat melalui perspektif terbuka penuh pengharapan tertinggi, dan bukan kekhawatiran yang menjadikannya semakin tertutup.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] G. E. Moore. (1985). "Cramming more components onto integrated circuits," ***Electronics. Volume 38. Number 8***, April 1965.
- [2] T. Simonite. (2016). "Moore's Law Is

- Dead. Now What?," 13 Mei 2016. [Online]. Available: <https://www.technologyreview.com/s/601441/mooreslawisdeadnowwhat/> 1/5. [Diakses 16 Agustus 2016].
- [3] I. E. Sutherland. (2003). **Sketchpad. A Man-Machine Graphical Communication System**. A. Blackwell dan K. Rodden. Penyunt. Cambridge: University of Cambridge.
- [4] H. Humpi. (2015). **Algorithm-Aided Building Information Modelling: Connecting Alorithm-Aided Design and Object-Oriented Design**. Tampere University of Technology.
- [5] Construction World. (2013). **INSTACON!** Januari 2013. [Online]. Available: <http://www.constructionworld.in/News.aspx?news=Instacon!&nid=/k7RwA9FDMq7K3wK5STHPA==>. [Diakses 16 Agustus 2016].
- [6] Business Insider. (2015). **A simple design innovation let a Chinese entrepreneur build a 57-story skyscraper in 19 days**," 20 Juni 2015. [Online]. Available: <http://www.businessinsider.co.id/chinese-skyscraper-built-in-19-days-with-modular-design-2015-6/?r=US&IR=T#HqH18clEttzQ2hvb.97>. [Accessed 16 Agustus 2016].
- [7] The Wall Street Journal. (2014). **Rapid Construction, China Style: 10 Houses in 24 Hours**. 15 April 2014. [Online]. Available: <http://blogs.wsj.com/corporate-intelligence/2014/04/15/how-a-chinese-company-built-10-homes-in-24-hours/?mod=e2fb>. [Diakses 16 Agustus 2016].
- [8] Wired. (2015). **Watch this giant 3D printer build a house**. 21 September 2015. [Online]. Available: <http://www.wired.co.uk/article/giant-3d-printer-builds-houses>. [Accessed 16 Agustus 2016].
- [9] 3Ders.org. (2016). **Branch Technology to begin construction of 3D printed house this July**. 5 Mei 2016. [Online]. Available: <http://www.3ders.org/articles/20160505-branch-technology-to-begin-construction-of-3d-printed-house-this-july.html>. [Diakses 16 Agustus 2016].
- [10] J. S. Curl. (2000). **Experimental architecture**. [Online]. Available: <http://www.encyclopedia.com/doc/1O1-Experimentalarchitecture.html>. [Diakses 21 Agustus 2016].
- [11] M. M. Ghiyaei. (2012). **Ambivalent Architecture: The Architecture Of "Distraction" The Influence Of Tele-Technology On Architecture And Urbanism**. Toronto: Ryerson University.
- [12] S. Sadler. (2005). **Archigram : architecture without architecture**. Massachusetts Institute of Technology.
- [13] J. Wong dan D. Y. Kim. (2010). **1970s Lebbeus Woods: Experimental Architecture**.
- [14] R. Herron. (2005). "Walking City," dalam **Archigram: architecture without architecture**. The MIT Press.
- [15] P. Cook. (2005). "Plug-In City," dalam **Archigram: architecture without architecture**. The MIT Press.
- [16] E. Knutz, T. Markussen dan P. R. Christensen. (2013). **The Role of Fiction in Experiments within Design, Art & Architecture**. Kolding School of Design.
- [17] H. Simon. (1969). **The sciences of the artificial**. The MIT Press.
- [18] A. Dunne dan F. Raby. (2001). **Design noir: The Secret Life of Electronic Objects**. Birkhauser. Basel.
- [19] T. Markussen. (2013). **The Disruptive Aesthetics of Design Activism: Enacting Design Between Art and Politics**. Design Issues.no. 29.
- [20] M. G. Kjærsgaard dan L. Boer. (2015). "The speculative and the mundane in practices of futuremaking - Exploring relations between design anthropology and critical design," dalam **Collaborative Formation of Issues**. Aarhus. DK.
- [21] K. A. Zimmermann. (2015). **History of computers: A Brief Timeline**. 8 September 2015. [Online]. Available: <http://www.livescience.com/20718-computer-history.html>.
- [22] National Institute of Building Sciences. (2016). **About The National BIM Standard-United States**. [Online]. Available: <https://www.nationalbimstandard.org/about>. [Diakses 9 Agustus 2016].
- [23] C. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks dan K. Liston. (2008). **BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors**. John Wiley & Sons. Inc.
- [24] BIM Forum. (2011). **Software-BIM**. [Online]. Available: http://bimforum.org/wp-content/uploads/2011/02/BIM_Tools_Mat

- rix.pdf. [Diakses 9 Agustus 2016].
- [25] B. Peters dan T. Peters. Penyunt. (2013). **Inside Smartgeometry: Expanding The Architectural Possibilities of Computational Design**. John Wiley & Sons Ltd.
- [26] R. Aish. (2013). "First Build Your Tools" dalam **Inside Smartgeometry: Expanding The Architectural Possibilities of Computational Design**. John Wiley & Sons Ltd. p. 36–49.
- [27] J. Wang. (2002) "Improved engineering design concept selection using fuzzy sets". **International Journal of Computer Integrated Manufacturing 15 (1)**, 2002.
- [28] R. Woodbury and A. Burrow. (2006). "Whither design space?" dalam **Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing. vol. 20**.
- [29] M. Turrin, P. v. Buelow and R. Stouffs. (2011). "Design explorations of performance driven geometry in architectural design using parametric modeling and genetic algorithms" dalam **Advanced Engineering Informatics 25**
- [30] M. E. Rosheim. (1994). **Robot Evolution: The Development of Anthrobotics**. John Wiley & Sons Inc.
- [31] G. Bekey. (2005). **Autonomous Robots: From Biological Inspiration to Implementation and Control**. Cambridge, MA: MIT Press.
- [32] P. Lin, G. Bekey and K. Abney. (2008). **Autonomous Military Robotics: Risk, Ethics, and Design**. San Luis Obispo: California Polytechnic State University.
- [33] I. Asimov. (1941). "Liar!" dalam **Astounding Science Fiction. vol. Mei**. Street & Smith.
- [34] K. Capek. (1921). **R.U.R. (Rossum's Universal Robots)**. 2004 penyunt. New York, NY: Penguin Group.
- [35] W. Saletan. (2007). **Chess Bump: The triumphant teamwork of humans and computers**. 11 Mei 2007. [Online]. Available: http://www.slate.com/articles/health_and_science/human_nature/2007/05/chess_bump.html. [Diakses 18 Agustus 2016].
- [36] T. Chouard. (2016). **The Go Files: AI computer wraps up 4-1 victory against human champion**. 15 Maret 2016. [Online]. Available: [http://www.nature.com/news/the-go-files-ai-computer-wraps-up-4-1-victory-](http://www.nature.com/news/the-go-files-ai-computer-wraps-up-4-1-victory-against-human-champion-1.19575)
- [against-human-champion-1.19575](http://www.nature.com/news/the-go-files-ai-computer-wraps-up-4-1-victory-against-human-champion-1.19575). [Diakses 18 Agustus 2016].
- [37] N. Melzer. (2013). **Human rights implications of the usage of drones and unmanned robots in warfare**. Brusel: European Parliament.
- [38] NASA-JPL. (2016). **Mobility & Robotics**. [Online]. Available: <http://scienceandtechnology.jpl.nasa.gov/research/research-topics-list/spacecraft-technologies/mobility-robotics>. [Diakses 19 Agustus 2016].
- [39] Live Science. (2013). **Incredible Technology: How to Explore the Deep Sea**. 15 Juli 2013. [Online]. Available: <http://www.livescience.com/38174-how-to-explore-the-deep-sea.html>. [Diakses 19 Agustus 2016].
- [40] 3Dprint.com. (2016). **Chinese Construction Company 3D Prints an Entire Two-Story House On-Site in 45 Days**. 16 Juni 2016. [Online]. Available: <https://3dprint.com/138664/huashang-tengda-3d-print-house/>. [Accessed 16 Agustus 2016].
- [41] A. Nehuen. (2015). **3D printing construction & architecture : building the home of the future**. Sculpteo, 7 Oktober 2015. [Online]. Available: <https://www.sculpteo.com/blog/2015/10/07/3d-printing-construction/>. [Diakses 19 Agustus 2016].
- [42] Fastbrick Robotics. (2016). **Fastbrick Robotics Homepage**. [Online]. Available: <http://www.fbr.com.au/>. [Diakses 19 Agustus 2016].
- [43] Construction Robotics. **Construction Robotics Homepage**. 2016. [Online]. Available: <http://www.construction-robotics.com/>. [Accessed 19 Agustus 2016].
- [44] L. Wang. (2015). **Incredible bricklaying robot can build a house in just two days**. Inhabitat. [Online]. Available: <http://inhabitat.com/incredible-bricklaying-robot-can-build-a-house-in-just-two-days/>. [Diakses 18 Agustus 2016].
- [45] Anonim. (2016). **Semi Automated Mason**.
- [46] J. Sklar. (2015). **Robots Lay Three Times as Many Bricks as Construction Workers**. 2 September 2015. [Online]. Available: <https://www.technologyreview.com/s/540916/robots-lay-three-times-as-many-bricks-as-construction-workers/>. [Diakses 19 Agustus 2016].

- [47] D. Nield. (2015). **Brick-laying robot can build a full-sized house in two days.** 30 Juni 2015. [Online]. Available: <http://newatlas.com/hadrian-brick-laying-robot-fastbrick/38239/>. [Diakses 19 Agustus 2016].
- [48] H. Hodson. (2015). **AI interns: Software already taking jobs from humans.** 31 March 2015. [Online]. Available: <https://www.newscientist.com/article/mg22630151.700-ai-interns-software-already-taking-jobs-from-humans/#.VY2CxPIViko>. [Diakses 12 Agustus 2016].
- [49] M. Y. Vardi. (2016). **Are robots taking our jobs?** [Online]. Available: <https://theconversation.com/arerobots-takingourjobs56537>. [Accessed 6 April 2016].
- [50] Pew Research Center. (2014). **AI, Robotics, and the Future of Jobs.**
- [51] ILO. (2001). **The construction industry in the twenty-first century: Its image, employment prospects and skill requirements.** International Labour Organization. Jenewa.
- [52] J.-H. Chang dan P. Huynh. (2016). **ASEAN in transformation : the future of jobs at risk of automation.** Jenewa: International Labour Office. Bureau for Employers' Activities.
- [53] C. Frey and M. Osborne. (2013). **The future of employment: How susceptible are jobs to computerisation?** University of Oxford.
- [54] C. G. Wagner. 2011. "Emerging Careers and How to Create Them," dalam **The Futurist: 70 Jobs for 2030.** Bethesda. World Future Society.
- [55] P. Tucker. (2011). "A Clash of Ideas and Ideals," dalam **The Futurist: 70 Jobs for 2030.** Bethesda. World Future Society.
- [56] L. Grozdanic. (2016). **Algorithm vs. Architect: Will Machines Design the Cities of the Future?**. [Online]. Available: <http://www.archipreneur.com/algorithm-vs-architect-will-machines-design-the-cities-of-the-future/>. [Accessed 19 Agustus 2016].
- [57] D. Davis. (2015). **Why Architects Can't Be Automated.** [Online]. Available: http://www.architectmagazine.com/technology/why-architects-cant-be-automated_o. [Accessed 19 Agustus 2016].
- [58] RIBA. (2010). **The Future for Architects?**. Royal Institute of British Architects. London.
- [59] WFS. (2011). **The Futurist: 70 Jobs for 2030.** Bethesda.MD: World Future Society.
- [60] T. Frey. (2014). **162 Future Jobs: Preparing for Jobs that Don't Yet Exist.** Futurist Speaker, 21 Maret 2014. [Online]. Available: <http://www.futuristspeaker.com/business-trends/162-future-jobs-preparing-for-jobs-that-dont-yet-exist/>. [Diakses 22 Agustus 2016].

DAFTAR GAMBAR

- Gambar 1. Konstruksi Mini Sky City di Changsa, Tiongkok oleh Broad Sustainable Building [6]...45
- Gambar 2. Bangunan 10 lantai dengan waktu konstruksi tercepat di Mohali, India oleh Synergy Thrislington [5]45
- Gambar 3. Citra konsep Walking City oleh Ron Herron [14]46
- Gambar 4. Citra konsep Plug-In City oleh Peter Cook [15]46
- Gambar 5. Adegan interaksi antara manusia (kiri) dan robot (kanan) dalam R.U.R. oleh Karel Capek [34]50
- Gambar 6. Printer 3D untuk mencetak bangunan yang dikembangkan tim WASP (World's Advanced Saving Project) dari Italia [41]51
- Gambar 7. Bentuk robot "Hadrian" yang dikembangkan oleh Fastbrick Robotics [44]51
- Gambar 8. Bentuk robot "SAM" (semi-automated mason) yang dikembangkan oleh Construction Robotics [45]51

