

Analisis Pembangunan Kembali Rumah Pasca Gempa Dengan Teknologi Konstruksi Cetak Tanah Tiga Dimensi

I Gusti Ayu Wulan Krisna Dewi

Politeknik Negeri Bali, Jl. Kampus Bukit Jimbaran, Kuta Selatan, Badung, Bali - Indonesia

*Penulis korespondensi, Surel: wulankrisna@pnb.ac.id

Paper received: 05-02-2023; revised: 15-02-2023; accepted: 30-02-2023

Abstract

Indonesia is located on the Pacific Ring of Fire and is considered an earthquake-prone country that can certainly have an impact on the people who experience it. What plays an important role in restoring the lives of affected victims is to carry out the rebuilding of safer and healthier homes. One of the major disasters that occurred in Indonesia was the Lombok earthquake in 2018 which occurred repeatedly and destroyed many houses. Although the government has targeted the reconstruction by the end of 2018, due to various obstacles, the process has been delayed. Based on this, a reconstruction system is needed that can be done quickly and at the same time produce houses that are sustainable and safe for the community. The Three-Dimensional Earth Print Construction Technology can be said to be a breakthrough in building affordable houses and with natural materials in bulk within one day. The purpose of this study is to determine the ability of Three-Dimensional Soil Printing Construction Technology in solving the problem of post-earthquake house reconstruction in Indonesia and its impact on the environment. The results show that this technology can overcome the problem of slowing down and has a good impact on the environment.

Keywords: reconstruction; post earthquake; 3d printed construction technology;

Abstrak

Indonesia merupakan negara yang terletak di Cincin Api Pasifik dan dianggap sebagai negara yang rawan gempa yang tentu dapat memberikan dampak bagi masyarakat yang mengalaminya. Hal yang berperan penting dalam memulihkan kembali kehidupan korban yang terdampak yaitu dengan melaksanakan pembangunan kembali rumah yang lebih aman sekaligus sehat. Salah satu bencana besar yang terjadi di Indonesia yaitu gempa Lombok pada tahun 2018 yang terjadi berulang kali dan telah menghancurkan banyak rumah penduduk. Walaupun pemerintah telah menargetkan rekonstruksi tersebut pada akhir 2018, namun akibat berbagai kendala akhirnya proses tersebut mengalami keterlambatan. Berdasarkan hal tersebut, dibutuhkan sebuah sistem rekonstruksi yang sekiranya bisa dilakukan dengan cepat dan sekaligus menghasilkan rumah yang berkelanjutan serta aman bagi masyarakat. Teknologi Konstruksi Cetak tanah Tiga Dimensi dapat dikatakan suatu terobosan dalam membangun rumah terjangkau dan dengan material alami secara massal dalam waktu satu hari. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kemampuan Teknologi Konstruksi Cetak Tanah Tiga Dimensi dalam menyelesaikan permasalahan rekonstruksi rumah pasca gempa di Indonesia dan dampaknya terhadap lingkungan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa teknologi ini mampu mengatasi masalah perlambatan dan berdampak baik terhadap lingkungan.

Kata kunci: pembangunan kembali; pasca gempa; teknologi konstruksi cetak 3d

1. Pendahuluan

Indonesia yang terletak di Cincin Api Pasifik, dikenal sebagai negara rawan gempa bumi karena terletak pada pertemuan beberapa lempeng tektonik besar yang saling bergerak diantaranya Lempeng Eurasia, Lempeng Australia, Lempeng Hindia, Lempeng Sunda dan Lempeng Pasifik. Ketika lempeng tersebut bergeser, bertabrakan, atau bergesekan satu sama lain, energi akan terakumulasi dan dilepaskan dalam bentuk gempa bumi. Selain itu, negara ini juga dikelilingi oleh banyak gunung berapi aktif yang dapat memicu terjadinya bencana alam seperti letusan gunung berapi, tsunami, dan longsor. Walaupun Indonesia seringkali mengalami

bencana gempa bumi dalam dua dekade terakhir, namun masih terlihat tidak ada perubahan yang signifikan dalam penanganan bencana terkait pembangunan kembali rumah pasca gempa (Arif, A. 2019). Hal ini dapat dilihat dari kasus Gempa Aceh pada tahun 2004 ataupun kasus Gempa Sulawesi Tengah pada tahun 2018, dimana target jumlah rumah yang dibangun kembali tidak berhasil dan sebagian bahkan tidak sesuai dengan spesifikasi yang diatur dalam kode Seismik Indonesia (Boen, T. 2015).

Kasus serupa juga terjadi pada tahun 2018 yaitu Gempa Lombok yang menewaskan lebih dari 500 korban jiwa dan menyebabkan kerusakan mayor pada sektor perumahan dimana dari total lebih dari 149 ribu rumah mengalami rusak berat. Permasalahan yang kemudian muncul yaitu lambatnya upaya pembangunan kembali rumah korban dan masih banyak dari mereka yang tinggal di tempat penampungan sementara meskipun gempa sudah berlalu lebih dari 2 tahun. Pemerintah sebenarnya telah melakukan upaya manajemen risiko pasca bencana di Lombok dengan menetapkan standar dan peraturan bangunan rumah baru tahan gempa yang lebih ketat. Salah satu tipe bangunan yang dipilih yaitu RISHA (Rumah Instan Sederhana Sehat). Namun demikian, RISHA yang diharapkan menjadi solusi cepat untuk rekonstruksi pasca gempa ternyata tidak dapat dilaksanakan secara instan karena proses prefabrikasi elemen strukturalnya masih cukup lambat untuk memenuhi permintaan mendadak dalam jumlah besar (Pribadi K.S, 2020). Selain itu faktor pelestarian lingkungan dan keberlanjutannya pun seringkali terabaikan pada saat pelaksanaan pembangunan kembali pasca gempa.

Teknologi Konstruksi Cetak Tanah Tiga Dimensi merupakan salah satu teknologi yang mampu menawarkan produksi rumah ramah lingkungan secara massal dengan harga terjangkau. Teknologi ini pun memungkinkan pembangunan rumah sehat dan berkelanjutan dalam waktu satu hari. Material alami yang dapat digunakan yaitu tanah liat yang merupakan salah satu bahan bangunan tradisional di Indonesia yang mudah diperoleh dan ramah lingkungan namun sudah mulai terlupakan. Berdasarkan hal tersebut, diharapkan Teknologi Konstruksi Cetak Tanah Tiga Dimensi ini menjadi salah satu alternatif yang tepat sebagai perbandingan pembangunan dengan RISHA dalam upaya rekonstruksi pasca gempa jika dilihat dari kecepatan, biaya dan ketersediaan materialnya. Akan tetapi tetap diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui tingkat keberhasilannya jika dilaksanakan di Indonesia.

2. Metode

Penelitian ini dilakukan pada bulan April 2021 yang berlokasi di Kabupaten Lombok. Batasan penelitian ini meliputi pembahasan mengenai pembangunan kembali pasca gempa di Lombok dalam waktu kejadian gempa tahun 2018 sampai 2020. Material yang digunakan dalam Teknologi Konstruksi Cetak Tiga Dimensi dalam penelitian ini adalah campuran dari 25% tanah liat (30% lempung, 40% lumpur dan 30% pasir), 40% jerami padi yang dicincang, 25% sekam padi dan 10% kapur hidrolik. Teknologi Konstruksi yang digunakan adalah Crane WASP dengan pencetak 3Dnya yaitu Big Delta 12MT yang mampu mencetak perumahan dengan menggunakan tanah liat sebagai bahan utamanya.

Adapun langkah-langkah yang dilakukan untuk mencapai hasil/tujuan dalam penelitian ini antara lain : Meninjau latar belakang permasalahan rekonstruksi bangunan pasca gempa; Menganalisis permasalahan tersebut ditinjau dari aspek dampaknya terhadap lingkungan; Meninjau potensi Teknologi Konstruksi Cetak Tanah Tiga Dimensi secara umum; Meninjau potensi RISHA secara umum; Meneliti dan mengevaluasi kemampuan Teknologi Konstruksi Cetak Tanah Tiga Dimensi dan RISHA dari aspek dampak terhadap lingkungan melalui prinsip-

prinsip Green Construction, serta kecepatan pembangunannya dalam studi kasus rekonstruksi pasca gempa di Lombok; Membandingkan hasil analisis mengenai kemampuan Teknologi Konstruksi Cetak Tanah Tiga Dimensi dan RISHA dalam kasus rekonstruksi pasca gempa di Lombok; Membuat kesimpulan tentang potensi Teknologi Konstruksi Cetak Tanah Tiga Dimensi sebagai rekonstruksi rumah pasca gempa dibandingkan dengan RISHA. Evaluasi akhir akan dilakukan berdasarkan aspek dampaknya terhadap lingkungan melalui prinsip Green Construction dan Kecepatan.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Perbandingan Teknologi Konstruksi Cetak Tanah Tiga Dimensi dengan RISHA Dalam Upaya Penyelesaian Permasalahan Perlambatan Pembangunan Kembali Rumah Pasca Gempa

Bencana gempa yang melanda Lombok pada tahun 2018 telah menimbulkan banyak korban jiwa termasuk kerusakan pada sektor perumahan. Berdasarkan hal tersebut, telah dikeluarkan Instruksi Presiden (INPRES) Nomor 5 tahun 2018 tentang percepatan Rehabilitasi dan Rekonstruksi Pasca Bencana Gempa Bumi Lombok. Rumah Instan Sederhana dan Sehat (RISHA) menjadi salah satu prototipe yang terpilih. Namun dari tinjauan lapangan menunjukkan bahwa program ini mengalami keterlambatan dalam pengerjaannya dan banyak pengungsi yang masih harus tinggal di tempat penampungan sementara. Beberapa faktor yang mempengaruhi lambatnya pembangunan kembali pasca gempa di Lombok antara lain ditinjau dari sumber daya manusia, bahan/material bangunan yang digunakan, biaya dan administrasi sampai dengan kontrol dan pengawasannya (Pribadi K.S, 2020).

Terbatasnya jumlah fasilitator yang berlatar belakang teknik menjadi salah satu kendala keterlambatan rekonstruksi jika ditinjau dari faktor sumber daya manusianya. Apalagi hal ini tidak diimbangi dengan tingginya beban kerja yang harus dikerjakan. Keterlambatan ini juga dipengaruhi oleh kurangnya tenaga ahli serta kurangnya sumber daya manusia (SDM) dalam pengawasan di lapangan. Untuk membangun rumah tahan gempa seperti RISHA bisa dikatakan tenaga ahli di bidang teknik sangat diperlukan untuk membuat panel RISHA karena berperan dalam penentuan struktur bangunannya maupun pengecekan bahan/material bangunannya yang didasarkan atas perhitungan tahan gempa begitupula dengan pengawasan yang harus dilaksanakan dalam masa pembangunannya (Koch, L. 2021). RISHA memiliki keunggulan dalam jumlah tenaga kerja yang diperlukan yaitu 5-6 orang, tetapi jumlah tenaga ahli yang tersedia masih kurang, mengingat jumlah rumah yang harus dibangun kembalipun sangat banyak. Dalam Holt. C, 2016, industri konstruksi sangat cocok untuk memanfaatkan keunggulan pencetakan tiga dimensi, sehingga dalam penelitian ini akan dibahas mengenai perbandingan antara RISHA dengan salah satu teknologi cetak 3D yaitu Teknologi Konstruksi Cetak Tanah Tiga Dimensi. Teknologi Konstruksi Cetak Tanah Tiga Dimensi memiliki keunggulan dalam jumlah tenaga kerja yang diperlukan sama seperti RISHA. Teknologi ini memungkinkan sebuah rumah dibangun oleh sekitar 3-5 orang tenaga kerja, yang akan mampu menurunkan biaya dan meningkatkan keamanan lokasi konstruksi, terutama di lingkungan yang berbahaya (Holt.C, 2016).

Jika dilihat dari bahan bangunan yang digunakan, terlambatnya proses rekonstruksi dapat diakibatkan oleh rumitnya proses memperoleh bahan atau material bangunan yang

dibutuhkan dalam kuantitas dan kualitas yang. Selain itu, masyarakat seringkali memutuskan untuk menggunakan bahan bangunan yang kualitasnya kurang memadai yang akhirnya menyebabkan lemahnya struktur bangunan yang dibangun kembali karena keterbatasan waktu yang dimiliki. Dalam salah satu kasus pascagempa di Lombok, masyarakat cenderung traumatik dengan bangunan beton ataupun bata, karena kerusakan dan dampak yang ditimbulkan cukup parah. Sehingga sebagian besar masyarakat memilih untuk membangun dari material alami seperti kayu dan bambu (Indra D.C, 2018). Namun timbul masalah lain dimana ketersediaan bahan kayu yang sesuai terbatas dan banyaknya penggunaan kayu yang terlalu muda sehingga pemerintah kemudian membatasi produksinya. Pemakaian material kayu dalam RISHA sebenarnya juga ada dan bisa dikatakan cukup hemat karena pada dasarnya hanya digunakan kuda-kuda, panel jendela dan panel pintu saja. Mengingat keperluan kayu yang digunakan tidak terlalu banyak, jadi kemungkinan untuk mempercepat proses rekonstruksi akan lebih cepat dibandingkan dengan bangunan konvensional lainnya. Teknologi Konstruksi Cetak Tanah Tiga Dimensi juga hemat dalam penggunaan material kayu yang pada dasarnya digunakan untuk pintu, jendela dan atap. Selain itu teknologi ini sangat ramah lingkungan karena sebagian besar menggunakan bahan-bahan alami seperti tanah liat, jerami dan sekam padi serta kapur hidrolik (WASP, 2020).

Sulitnya untuk menemukan pasir berkualitas baik di Lombok juga menjadi suatu kendala. Hal ini disebabkan karena sebagian besar pasir yang digunakan dalam proyek memiliki kandungan lumpur dan tanah liat yang tinggi. Pada bangunan RISHA, panel-panel strukturnya menggunakan sistem cetak sehingga menghasilkan produk dengan ukuran dan spesifikasi yang sama, dan kualitas produknya akan terjamin karena mengacu pada ketentuan yang berlaku dalam Standar Nasional Indonesia (SNI). Namun yang menjadi masalah adalah limbah konstruksi dari pabrikasi tersebut serta proses mobilisasi material ke lokasi yang akhirnya dapat memperlambat proses rekonstruksi. Berbeda dengan Teknologi Konstruksi Cetak Tanah Tiga Dimensi yang tidak terlalu banyak memerlukan material seperti pasir dan koral. Dalam teknologi ini, pondasi terdiri dari bagian-bagian yang dicetak dengan mortar semen dan pengecoran beton bertulang yang juga berfungsi untuk sambungan struktur (WASP, 2020). Dengan penggunaan material-material yang lebih mudah ditemukan diharapkan teknologi ini dapat mempercepat proses rekonstruksi.

Dalam pembangunannya, RISHA yang menggunakan bahan bangunan pabrikasi diharapkan bisa lebih baik dalam pemilihan dan penggunaan material pabrikasinya karena materialnya bisa diperoleh dari luar Lombok. Sehingga kualitas seharusnya bisa dijaga dengan menyiapkan dan melaksanakan mekanisme, pedoman, SOP terkait dengan pihak-pihak aplikator/supplier. Namun proses mobilisasi material dan proses administrasinya ini akan memperlambat proses rekonstruksi. Untuk proses mobilisasi atau pengiriman panel-panel beton RISHA dari Jakarta dan Denpasar diperkirakan menghabiskan waktu satu 6-7 hari (Azzura, S.N. 2018). Sedangkan dalam pembangunan Teknologi Konstruksi Cetak Tanah Tiga Dimensi, diharapkan supplier material akan mudah diperoleh karena material seperti tanah liat, jerami dan sekam padi cukup banyak tersedia di Lombok. Seperti Desa Banyumulek, Kecamatan Kediri, Kabupaten Lombok Barat yang memiliki potensi alam yang besar dengan tersedianya lempung berkualitas baik (Hamdiani S, 2017). Pemanfaatan limbah sekam padi dan jerami sebagai peluang usaha baru juga dapat memberikan dampak yang baik bagi masyarakat (Herdiana, 2019). Sehingga bisa dikatakan dengan teknologi ini dapat memberikan peluang bagi masyarakat setempat untuk menjadi supplier dalam proses pembangunannya.

RISHA dalam pembangunannya memerlukan aplikator/supplier terkait dengan pemesanan elemen struktural yang digunakan dalam proses rekonstruksinya. Agar tidak terjadi kasus penipuan, sebenarnya sudah dilaksanakan beberapa prosedur terkait penunjukan aplikator/supplier di Lombok, hanya saja rumitnya prosedur juga membuat keterlambatan dalam proses rekonstruksi. Sedangkan dalam pembangunan Teknologi Konstruksi Cetak Tanah Tiga Dimensi, karena sebagian besar bahan yang digunakan sudah banyak tersebar di Lombok maka supplier pun akan lebih mudah diperoleh. Namun, untuk mendapatkan campuran yang tepat supplier/aplikator harus membuat banyak percobaan.

Sulitnya akses pengiriman material yang digunakan ke beberapa daerah tertentu juga menjadi salah satu penyebab terjadinya keterlambatan proses rekonstruksi pasca gempa di Lombok. Proses pengiriman panel-panel struktural pada bangunan RISHA sering terjadi kendala seperti sulitnya akses menuju lokasi dan proses mobilisasi material yang tidak bisa hanya dilakukan sekali mengingat rumah yang dibangun cukup banyak. Apalagi fabrikasi elemen strukturalnya bukan hanya berasal dari Lombok saja. Sehingga akses pengiriman juga menjadi lebih sulit karena lokasi yang cukup jauh. Sedangkan pembangunan dengan Teknologi Konstruksi Cetak Tanah Tiga Dimensi, material yang digunakan seperti tanah liat, jerami dan sekam padi bisa diperoleh dalam jumlah yang cukup banyak di Lombok, sehingga proses mobilisasi material menjadi lebih mudah karena supplier bahan materialnya bisa lebih dekat sehingga lebih mudah diakses. Mobilisasi alat/mesin teknologi 3D ini juga cukup mudah karena sistemnya yang dapat dibongkar dan dibangun kembali di lokasi konstruksi (Holt, 2016).

Selain itu, dalam Pribadi K.S, 2020 disebutkan bahwa bahan bangunan prefabrikasi yang tidak tersedia dan proses fabrikasi yang memakan banyak waktu juga menjadi kendala dalam proses rekonstruksi di Lombok. Ini menjadi salah satu kendala RISHA dimana selama implementasinya, tampak banyak aplikator (pemasok balok, kolom dan panel beton RISHA) yang tidak dapat memenuhi permintaan produksi. Selain itu untuk mencetak satu unit konstruksi RISHA diperlukan waktu 1 hari (selama pembesian telah dilakukan sebelumnya) dan baru dapat di install kurang lebih 6 hari setelah melalui proses curing atau pengeringan dengan dibiarkan di udara terbuka. Sehingga waktu fabrikasi untuk 1 rumah RISHA memakan waktu paling cepat 1 minggu dan belum ditambah waktu pengiriman ke lokasi rekonstruksi. Sedangkan pembangunan dengan Teknologi Konstruksi Cetak Tanah Tiga Dimensi tidak diperlukan adanya proses prefabrikasi maupun fabrikasi material, tetapi diperlukan percobaan untuk menemukan campuran bahan bangunan yang tepat. Tentu akan memakan banyak waktu untuk memperoleh komposisi campuran bahan material yang memadai. Namun, jika percobaan ini sudah memperoleh komposisi yang tepat, maka proses selanjutnya akan lebih mudah dan cepat.

Pemicu terlambatnya rekonstruksi di Lombok jika dilihat dari segi biaya dan administrasi, antara lain rumitnya prosedur administrasi pencairan dana bantuan hingga terbatasnya bank yang ditunjuk untuk pencairan dana di daerah sehingga tidak menjangkau semua masyarakat yang terdampak. Adanya ketidaksesuaian kalkulasi biaya konstruksi, dimana seringkali dana yang diperoleh tidak sesuai dengan rancangan biaya yang dibuat juga menyebabkan proses rekonstruksi rumah menjadi tidak terselesaikan yang berpengaruh terhadap lambatnya proses rekonstruksi pasca gempa di Lombok. Sebagai salah satu metode rekonstruksi yang digunakan, bisa dikatakan rumitnya proses administrasi menjadi salah satu faktor

keterlambatanxrekonstruksi dengan metode RISHA. Namun perhitungan dalam pembiayaan pembangunan RISHA disebutkan cukupxseederhana dan sudah ada keterlibatan pokmas dan fasilitatorxdi dalamnya, sehingga diharapkan proses rekonstruksi ini bisa terselesaikanxdengan baik jika dibandingkan dengan pembangunan konvensional. Sedangkan dengan Teknologi Konstruksi Cetak Tanah Tiga Dimensi, kendalaxbiaya dan administrasi kemungkinan dapat diminimalkan seiring dengan berkurangnya jumlah tenaga kerja yangxdiperlukan (Holt.C, 2016). Namun, apapun metode rekonstruksi perumahan yang akanxdigunakan, pemerintahxharus mempersiapkan mekanisme, pedoman danxSOP yang baik terkait biaya dan administrasi. Darixsegi kontrol dan pengawasan masih banyak halxyang menyebabkan terlambatnya proses rekonstruksi diLombok, seperti prosesxpengawasan, pelatihan, prosedur manajemen mutu bangunan dan penyaluran peran dan tanggung jawab SDM yang kurang bahkan tidak memadaixserta kurangnya partisipasi dan keterlibatan penerima manfaat selamaxpelaksanaannya (Pribadi K.S, 2020).

Masalah umum yang terjadi di lokasi rekonstruksi denganxmetode RISHA adalah ketidakpatuhan terhadap persyaratan teknis struktural. Keadaan ini tidak dapat dihindari karena pengawasan dan inspeksi yang tidak memadai. Fasilitator yangxseharusnya memantau dan mengawasi pekerjaan konstruksi jumlahnyaxterbatas dan pengetahuan teknisnya masih banyak yang kurang. Sedangkanxpembangunan dengan Teknologi 3D seperti CranexWASP disebutkan mampu menciptakan bangunan dengan mengoptimalkan proses konstruksi dan meminimalkan penggunaan sumberxdayaxmanusia dan energi (WASP, 2020). Dengan penggunaan mesin pencetak 3D maka kontrol dan pengawasanxdalam rekonstruksi menjadi lebih efisienkarena secara otomatisxdapat mengurangi dampak kesalahan manusia pada prosesxpembangunan (Holt.C, 2016).

Berdasarkan analisis dataxyang telah dijabarkanxsebelumnya, RISHA merupakan tipe rumah yang cukup banyak diminatixmasyarakat terdampak gempa di Lombok. Namun sampai saatini masih belum terlaluxefektif dalam proses percepatan rekonstruksi pasca gempa di Lombok. Teknologi Konstruksi Cetak Tanah Tiga Dimensi sebagai sebuah terobosan teknologi baru dapat digunakan sebagai alternatifxuntuk dapatxmempercepat proses rekonstruksi pasca gempa di Lombok, dengan menawarkanxkecepatan dan efisiensixyang lebih baik serta kemudahan pengangkutanxyang lebihxbesar dengan sistem yang dapat dibongkar dan dibangun kembali di lokasi konstruksi. Elemen yang sudah selesai kemudianxdapat segera ditempatkan tanpa perlu transportasi dari pabrikxatau gudang ke lokasi (Holt.C, 2016).

3.2. Perbandingan Teknologi Konstruksi Cetak Tanah Tiga Dimensi dengan RISHA Dalam Upaya Penyelesaian Permasalahan Dampak Terhadap Lingkungan

Kesadaran penduduk Indonesia semakin menurun terhadap isu pemanasan global, hal ini ditandai dengan dinyatakannya negara ini sebagai penghasil emisi karbon terbesar posisi ke-6 menurut riset tentang deforestasi dan degradasi tahun 2011. Padahal pemanasan global diketahui berdampak buruk karena dapat menyebabkan penipisan lapisan ozon, perubahan iklim yang tidak menentu dan meningkatnya suhu di bumi. Adapun beberapa hal yang dapat menyebabkan terjadinya pemanasan global antara lain penyempitan lahan hijau, efek rumah kaca dan pembangunan yang tidak memerhatikan lingkungan (Roshaunda D, 2019). Terkait dengan pembangunan, maka rekonstruksi pasca gempa juga termasuk dalam isu dampak lingkungan yang harusnya tidak diabaikan, sehingga penting dalam memilih konstruksi bangunan yang ramah lingkungan.

Sebagai salah satu metode alternatif yang cukup diminati dalam proses rekonstruksi pasca gempa di Lombok, RISHA yang menggunakan bahan beton bertulang dan tidak banyak mengkonsumsi material dari alam disebutkan layak dikembangkan karena ramah lingkungan dan telah memenuhi standar (Sabarudin A, 2015). Padahal pada kenyataannya, teknologi RISHA juga dapat berdampak negatif pada lingkungan, misalnya saja dilihat dari segi bahan bangunan yang digunakan serta limbah-limbah yang dihasilkan saat masa rekonstruksi. Dalam pelaksanaannya terdapat mobilisasi kendaraan terkait dengan pengiriman material atau bahan bangunan yang digunakan sehingga mengakibatkan pencemaran udara. Kendaraan bermotor yang berhenti dan mulai berjalan mempunyai pengaruh yang sangat besar dalam emisi gas-gas hidrokarbon dan karbon monoksida dari kendaraan (Panjaitan T, 2011). Jadi bisa dikatakan bahwa emisi gas hidrokarbon dari kendaraan yang mengangkut bahan bangunan ke lokasi dalam jumlah yang besar, akan meningkatkan polusi udara disekitar proyek konstruksi. Jika dibandingkan dengan Teknologi Cetak Tanah 3D, maka polusi udara yang ditimbulkan bisa berkurang, karena material yang digunakan seperti tanah liat, jerami dan sekam padi sebagian besar berada dekat dengan proyek rekonstruksi. Sehingga secara tidak langsung emisi gas hidrokarbon tidak akan sebanyak bila pengiriman dilakukan dari luar kota. Proses prefabrikasi elemen struktural RISHA seperti beton dan besi dapat menyebabkan emisi karbon dioksida yang berlebih di areal pabrik, karena beberapa jenis bahan bangunan yang diproduksi dari raw material akan menghasilkan emisi CO₂ yang disebabkan oleh proses kimia bahan ketika diproduksi. Adapun jenis bahan bangunan yang mengeluarkan emisi CO₂ dari proses kimia tersebut antara lain proses produksi semen dan proses produksi besi yang diperlukan dalam produksi elemen struktural RISHA. Sedangkan dengan Teknologi 3D, penggunaan elemen beton sebagai pondasi bisa dikatakan lebih sedikit, sehingga dapat meminimalkan proses fabrikasi bahan bangunan yang berdampak buruk bagi lingkungan. Struktur bangunannya dibuat dengan menggunakan lumpur dan tanah liat serta serat tumbuhan yang memungkinkan konstruksi yang ramah lingkungan.

Pada konstruksi konvensional sebelumnya, saat terjadi gempa maka muncul puing-puing akibat reruntuhan bangunan. Puing-puing tersebut sebagian besar adalah bahan-bahan berbasis semen, yang tentu akan berdampak buruk bagi ekosistem alam sekitarnya (Wibowo, 2015). RISHA sebagai salah satu rumah yang banyak dipilih masyarakat terdampak, memang dianjurkan pemerintah karena disebut sebagai rumah tahan gempa. Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan di laboratorium dan lapangan, menunjukkan bahwa bangunan RISHA memiliki keandalan terhadap beban gempa sampai dengan daerah zonasi 6 (Sabarudin A, 2015). Sehingga diharapkan saat gempa melanda kembali, tidak akan terjadi bangunan yang runtuh sehingga meminimalkan terjadinya dampak buruk terhadap lingkungan. Sedangkan dengan Teknologi Cetak Tanah 3D, jika terjadi gempa yang menyebabkan runtuhnya bangunan ataupun nantinya rumah hasil rekonstruksi ini akan dibongkar dan dibangun kembali, puing-puingnya tidak akan mengganggu ekosistem lingkungan karena bahan materialnya yang memang alami dan dapat menyatu dengan tanah lahan rumah tersebut atau bahkan digunakan untuk konstruksi baru (WASP, 2020).

Kemudian secara umum jika dilihat dari konstruksi bangunan di Indonesia, ada beberapa permasalahan yang dapat ditimbulkan saat rekonstruksi konvensional pasca gempa berlangsung yaitu dihasilkannya limbah proyek konstruksi (construction waste). RISHA sebagai rumah yang dianjurkan pemerintah bagi masyarakat terdampak gempa di Lombok sebenarnya juga menghasilkan limbah proyek konstruksi. Hanya saja jumlahnya bisa lebih sedikit dibandingkan dengan konstruksi konvensional karena komponen strukturnya

merupakan hasil fabrikasi, sehingga limbah sisa campuran semen dan beton dapat berkurang di lokasi rekonstruksi. Selain itu konsumsi bahan bangunan RISHA dibandingkan dengan rumah konvensional secara keseluruhan disebutkan turun 30%, yang artinya limbah konstruksi yang dihasilkanpun dapat lebih diminimalisir (Chairunnisa A, 2018). Teknologi Konstruksi Cetak Tanah 3D juga mampu mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan karena menggunakan bahan-bahan alami seperti tanah liat, jerami dan air untuk membuat struktur yang dapat didaur ulang ketika telah mencapai akhir penggunaannya sehingga dapat meminimalkan limbah dan dampak lingkungan. Penempatan material yang lebih tepat berarti lebih sedikit limbah yang dihasilkan (Holt.C, 2016).

Jumlah pekerja yang besar dalam rekonstruksi pasca gempa saat ini pun menimbulkan polusi udara dan kebisingan yang disebabkan oleh setiap kendaraan yang digunakan para pekerja menuju dan kembali dari proyek tersebut. Selain itu, perilaku pekerja proyek yang tidak ramah lingkungan juga dapat menimbulkan dampak negatif berupa limbah konstruksi (Firmawan F, 2012). Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, jumlah tenaga kerja dalam pembangunan RISHA cukup sedikit yaitu 5-6 orang, sehingga jika dibandingkan dengan pembangunan konvensional, dampak negatif yang ditimbulkan akibat para pekerja konstruksi seperti sampah konsumsi pribadi mereka maupun polusi udara ataupun kebisingan akibat kendaraan yang mereka gunakan akan dapat lebih diminimalisir. Begitu pula dengan Teknologi Konstruksi Cetak Tanah 3D, jika dibandingkan dengan kedua metode sebelumnya, teknologi ini juga mampu mengurangi dampak negatif akibat limbah konstruksi yang dihasilkan oleh para pekerja konstruksi karena jumlahnya tidak banyak.

Selain itu, peralatan konstruksi pada pembangunan rumah secara konvensional maupun RISHA juga dapat menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan di sekitar proyek konstruksi. Peralatan konstruksi yang termasuk dalam sumber daya proyek dapat menimbulkan emisi CO₂ ekivalen selama proses konstruksi (Setiawati A, 2015). Selain itu pemakaian listrik dari peralatan konstruksi juga dapat menimbulkan emisi karbon karena sebagian besar pembangkit listrik menggunakan bahan bakar fosil yang juga merupakan penyebab terbesar efek gas rumah kaca (Sudjono P, 2011). Sedangkan jika dibandingkan dengan Teknologi Konstruksi Cetak Tanah 3D, dampak negatif dari peralatan ini dapat berkurang karena hanya memerlukan satu mesin pencetak, sehingga pemakaian listrik sekaligus emisi karbon dioksida yang dihasilkan akan jauh berkurang. Selain itu, teknologi ini direncanakan akan dibuat dengan sistem swasembada yang mengumpulkan energinya sendiri melalui penggunaan panel surya (Holt.C, 2016). Dengan penggunaan panel surya atau energi matahari, maka penggunaan listrik akan semakin berkurang.

Berdasarkan analisis tersebut, dapat dikatakan bahwa metode RISHA lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan rekonstruksi dengan metode konvensional. Teknologi Konstruksi Cetak Tanah Tiga Dimensi juga dapat dijadikan sebagai alternatif rekonstruksi pasca gempa karena mampu mengurangi dampak buruk terhadap lingkungan seperti polusi udara, pencemaran tanah dan menghemat penggunaan listrik.

4. Simpulan

Dari pembahasan sebelumnya dapat disimpulkan bahwa Teknologi Konstruksi Cetak Tanah Tiga Dimensi mampu menyelesaikan masalah perlambatan rekonstruksi pasca gempa di Indonesia dibandingkan dengan Rumah Instan Sederhana Sehat (RISHA).

Sebagai sebuah terobosan, teknologi ini menawarkan kecepatan dan efisiensi yang lebih baik serta menggunakan bahan bangunan yang lebih mudah diperoleh dan lebih dekat dari lokasi pembangunan. Teknologi Konstruksi Cetak Tanah 3D juga dapat memecahkan masalah dampak terhadap lingkungan bagi rekonstruksi pasca gempa di Indonesia dibandingkan dengan RISHA. TEKSET 3D mampu mengurangi dampak buruk terhadap lingkungan seperti polusi udara, pencemaran tanah dan menghemat penggunaan listrik. Karena penelitian ini menitikberatkan pada penyelesaian keterlambatan rekonstruksi pasca gempa serta dampak lingkungan terhadap rekonstruksi pasca gempa, maka perlu dilakukan penelitian dan pengujian lebih lanjut mengenai ketahanan gempa.

Ucapan Terima Kasih (Opsional)

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat-Nya untuk memastikan penyelesaian jurnal ini tepat waktu. Penulis menghadapi beberapa kendala dalam penyusunan jurnal ini, terutama karena keterbatasan waktu. Oleh karena itu, berikut orang-orang yang sangat diapresiasi atas beberapa masukan yang telah mereka buat untuk menyukseskan jurnal ini: (1) Keluarga penulis atas bimbingan moral dan materinya; (2) Teman-teman yang banyak membantu dalam membuat penelitian ini untuk memastikan selesai tepat waktu tanpa masalah.

Daftar Rujukan

- Azzura, S. N. (2018). *Pemerintah Kembangkan Rumah Anti Gempa Dengan Teknologi RISHA*. [cited 2021 Juni 7]. Available from URL: <https://www.merdeka.com/uang/pemerintah-kembangkan-rumah-anti-gempa-dengan-teknologi-risha.html>
- Boen, T. (2015). *Building A Safer Aceh, Reconstruction of Houses, One Year After the Dec. 26, 2004, Tsunami*. Senior Advisor WSSI (World Seismic Safety Initiative). Jakarta, Indonesia
- Chairunnisa, A. (2018). *Analisa Perbandingan Biaya Rumah Konvensional dengan Rumah Instan Sederhana Sehat (RISHA) Tipe 36*. Medan: Universitas Sumatera Utara
- Firmawan, F. (2023). Karakteristik dan Komposisi Limbah (Construction Waste) pada Pembangunan Proyek Konstruksi. *Majalah Ilmiah Sultan Agung*, 50(127), 35-44.
- Hamdiani, S., Zuryati, U. K., & Ariessaputra, S. (2017). Aplikasi teknologi nanokomposit limbah padat peternakan sapi (lpps) di industri gerabah desa banyumulek kabupaten lombok barat. *Jurnal Pijar Mipa*, 12(2), 112-115.
- Herdiana. (2019). Pemanfaatan Limbah Sekam Padi dan Jerami sebagai Pupuk Organik Cair (POC) Sebagai Peluang Usaha Baru di Desa Bonder Kecamatan Praya Barat NTB. *Avesina Vol.13 No.2/Desember 2019*.<http://e-journal.unizar.ac.id>
- Holt, C., Edwards, L., Keyte, L., Moghaddam, F., & Townsend, B. (2019). Construction 3D printing. In *3D Concrete Printing Technology* (pp. 349-370). Butterworth-Heinemann.
- Indra, D.C. (2018). *Pemanfaatan Sistem Risha pada Eksplorasi Desain Bangunan Bambu untuk Rekonstruksi Pasca Bencana (tesis)*. Bandung: Universitas Katolik Parahyangan
- Panjaitan, T. (2012). Pengelolaan pencemaran udara akibat transportasi di kawasan perumahan di pinggiran metropolitan. *Sabua: Jurnal Lingkungan Binaan dan Arsitektur*, 3(1).
- Pribadi, K. S., Pradoto, R. G., Hanafi, E. A., & Rasmawan, I. M. A. B. (2020). Lombok earthquake, one year later: housing sector recovery. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 156, p. 01012). EDP Sciences.
- Sabaruddin, A., & Sukmana, N. P. (2015). *Rumah instan sederhana sehat (RISHA)*. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Badan Penelitian dan Pengembangan, Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Permukiman.
- Setiawati, A., Prasetyo, S. C. A., Hatmoko, J. U. D., & Hidayat, A. (2015). Kuantifikasi Emisi Gas CO2 Ekuivalen Pada Konstruksi Jalan Perkerasan Kaku. *Jurnal Karya Teknik Sipil*, 4(1), 83-92.

Sudjono, P., & Yudhi, C. O. (2011). Estimasi Emisi CO₂ Dari Pembangunan Berbagai Ukuran Rumah Sederhana. *Jurnal Teknik Lingkungan, 17*(2), 98-109.

WASP (2020). 3D printers, crane wasp, tekla. <https://www.3dwasp.com/en/3d-printed-house-tecla/>

Wibowo, A. P. (2015). Aplikasi Material Bekas Pakai Pada Rekonstruksi Rumah Tinggal Pasca Bencana Alam Gempa Bumi. *Konferensi Nasional Teknik Sipil 9, 9*, 601-606.