

DAUR ULANG PLASTIK UNTUK BAHAN BANGUNAN

UPCYCLED PLASTICS FOR BUILDING MATERIALS

Fernisia Richtia Winnerdy^{1*}, Mendy Laoda²

¹Departemen Arsitektur, Fakultas Desain, Universitas Pelita Harapan

²Program Studi Teknologi Konstruksi Bangunan Gedung, Politeknik Manufaktur Astra

e-mail: Fernisia.winnerdy@uph.edu¹, mendy.laoda@polman.astra.ac.id²

Diterima: Maret, 2020 | Disetujui: April, 2020 | Dipublikasi: April, 2020

Abstrak

Plastik merupakan material yang dapat membahayakan bumi jika terus-menerus hanya diproduksi untuk dipakai secara sementara. Di saat yang sama, usaha untuk mendaur ulang plastik hingga saat ini terbatas pada produk aksesoris dan produk rumah tangga, yang secara jumlah, permintaan kebutuhannya masih minim. Penelitian ini merupakan sebuah usaha untuk mengeksplorasi teknologi daur ulang plastik untuk menghasilkan material bangunan sehingga produksinya dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan yang jumlahnya lebih besar secara sekaligus. Melalui penelitian ini penulis bereksperimen dengan membuat dan menguji beberapa prototipe elemen bangunan (dinding dan partisi). Penelitian pertama-tama dilakukan melalui penjabaran landasan teori tentang teknologi material plastik dan penggunaannya sebagai bahan bangunan. Studi kasus yang diangkat secara khusus adalah praktik *Precious Plastics* sebagai wadah komunitas dan penyedia perangkat daur ulang plastik di seluruh dunia, serta secara umum, proyek-proyek arsitektur terbangun yang menggunakan plastik daur ulang. Dari tahap ini, muncul kesimpulan mengenai hambatan dan potensi kegiatan daur ulang plastik untuk pembuatan bahan bangunan. Simpulan ini digunakan untuk mengerucutkan batasan-batasan eksperimen yang dilakukan (dengan bekerjasama dengan Mortier ID). Eksperimen yang dilakukan menghasilkan beberapa prototipe elemen bangunan yang dapat menjadi pedoman dan landasan untuk eksperimen-eksperimen yang akan datang.

Kata Kunci: daur ulang, plastik, material bangunan

Abstract

Plastic is a material that can harm the earth if only continuously produced to be used temporarily. At the same time, attempts to recycle plastics have so far been limited to accessories and household products, which are in minimal demand. This research aims to explore plastic recycling technology to produce building materials so that production can be used to meet the needs of a larger number at a time. Through

**Corresponding Author*

this study the authors experimented with making and testing several prototypes of building elements, such as wall materials, partitions, and columns. The research was first carried out through the elaboration of the theoretical foundation on plastic material technology and its use as building materials as well as case studies on the practice of Precious Plastics as a platform for communities and provider of plastic recycling equipment worldwide. From this stage, conclusions arise regarding the obstacles and potential of plastic recycling activities for the manufacture of building materials. This conclusion is used to narrow the limits of the experiments carried out (in collaboration with Mortier ID). Experiments carried out produced several prototypes which were then tested and analyzed their advantages and disadvantages. In the end the research produced a foundation and a guideline for future research experiments.

Keywords: *recycling, plastic, building material*

PENDAHULUAN

Fenomena melimpahnya sampah plastik sudah menjadi permasalahan global yang tidak dapat dipungkiri. Di satu sisi, mudah dan murah nya produksi membuat produk dengan material ini digunakan secara temporer. Di sisi lain, durabilitasnya yang baik malah membuat limbah buangan dari produk ini mencemari Bumi. Plastik adalah sampah yang tidak dapat langsung terurai, bahkan membutuhkan waktu ratusan tahun lamanya.

Dalam rangka memanfaatkan sampah tersebut, banyak perusahaan daur ulang sudah menjadikan sampah plastik sebagai material utama yang kemudian akan didaur ulang menjadi sebuah produk baru. Kegiatan usaha ini tentu membutuhkan persiapan yang matang baik secara materiil maupun konsep. Jenis plastik yang didaur ulang pun harus dipikirkan matang-matang karena setiap jenis plastik memiliki karakteristik yang berbeda.

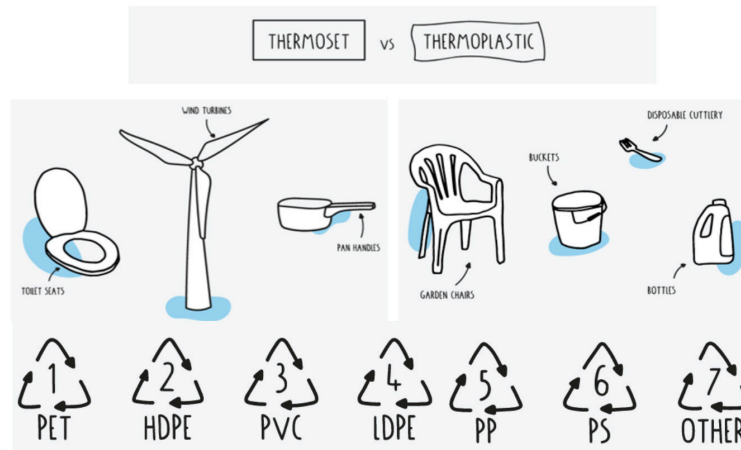
Terinspirasi dari sebuah platform online yang berasal dari Belanda, terdapat jenis-jenis plastik yang mudah didaur ulang sendiri dan tidak membutuhkan modal yang besar. Jenis plastik tersebut adalah HDPE (contohnya tutup botol plastik) dan LDPE (contohnya kantong kresek). Sejauh ini di Indonesia, usaha daur ulang untuk plastik jenis tersebut biasanya masih terbatas pada industri produk siap pakai seperti aksesoris maupun produk rumah tangga. Meskipun beberapa *brand* telah berhasil menghidupkan pendekatan daur ulang ini menjadi industri yang menghasilkan, namun kuantitas daur ulang yang dilakukan pun juga masih terbilang minim dikarenakan masih banyak proses yang diselesaikan secara manual.

Arsitektur sebagai sebuah industri yang menggunakan jumlah bahan material yang besar memiliki potensi untuk mengambil bagian dalam usaha penanggulangan masalah ini. Bagaimanakah plastik dapat diolah menjadi bahan bangunan? Bentuk material seperti apa yang dapat dihasilkan? Bagaimana sajakah bentuk material dasar tersebut dapat dikembangkan lagi? Penelitian ini mengedepankan kajian literatur sebagai basis melakukan eksperimen. Eksperimen kemudian dilakukan di workshop untuk mencari tahu kemungkinan-kemungkinan pengembangan material ini untuk kebutuhan pembangunan arsitektur. Hasil penelitian diharapkan dapat memberi peluang bagi pendidikan arsitektur untuk mengeksplorasi material plastik ini dalam studio desain. Selain itu, lebih jauh lagi diharapkan pula agar penelitian dapat menghasilkan temuan yang dapat diaplikasikan dalam industri arsitektur baik dalam skala makro (pembangunan besar) maupun dalam skala kecil (komunal, dengan sistem DIY).

KAJIAN TEORI

Plastik

Terdapat dua tipe plastik. Tipe pertama adalah *thermoset*, yaitu plastik yang polimer penyusunnya terikat secara permanen, sehingga tidak dapat berubah saat sudah terbentuk / mengeras saat suhu dingin. Dengan kata lain, *Thermoset* tidak dapat mencair maupun didaur ulang. Sedangkan tipe kedua adalah *thermoplastic*, yaitu plastik polimer yang mengeras saat suhu rendah dan mencair saat suhu tinggi. Dengan demikian, plastik yang dapat didaur ulang adalah plastik tipe *thermoplastic*.



Gambar 1. Jenis-jenis plastik dan klasifikasinya (Sumber: *Preciousplastic.com*)

80% plastik di dunia merupakan *thermoplastic*. Plastik tipe ini dibagi-bagi lagi berdasarkan struktur dan propertinya dan ditandai dengan nomor yang dicetak pada permukaan materialnya dengan urutan sebagai berikut:

Tabel 1 Jenis-jenis plastik.

| Jenis plastik | properti | pro | kontra | Penggunaan | daur ulang? |
|---------------------------------------|--|---|---|--|-------------|
| 1 PET Polythylene terephthalate | ringan, semi rigid | kuat, kaku tahan air dan oksida, baik untuk elektrik | mengeluarkan bau, menyusut | botol air, pembungkus, film, perangkat elektrik | x |
| 2 HDPE High-density polythylene | inert, suhu stabil kuat, struktur tarik kuat | murah, tahan bahan kimia, baik untuk peralatan listrik, | Mudah terbakar, tidak tahan sinar UV, menyusut | pipa, mianan, mangkok, bungkus film | v |
| 3 PVC Polyvinyl chloride | Inert, baik untuk insulasi | Murah tahan asam dan alkali, cukup tahan api, kuat | Pecah dalam suhu rendah, berubah warna saat terpapar UV yang kuat | Pembungkus kabel, pipa, produk bangunan | x |
| 4 LDPE Low-density polythylene | Inert, baik untuk insulasi, fleksibel | Murah, tahan bahan kimia, kuat pada suhu rendah | Tidak tahan gaya Tarik, tidak kokoh, mudah terbakar, tidak tahan sinar UV, menyusut | Wadah, pipa, mainan, mangkok | x |
| 5 PP Polypropylene | | Kuat (lebih kuat dari PE), | Lebih mahal dari PE, Pecah dalam suhu rendah, tembus gas, tidak tahan | Kotak CD, mainan, karpet, tali tambang plastik, net, kursi, wadah | v |

| | | | | | |
|------------------------------|-----------------|--|--|-------------------|---|
| | | | bahan bakar dan sinar UV, mudah terbakar | | |
| 6 PS Polystyrene (Styrofoam) | Mengkilap, kaku | Murah, menyusut, insulator, baik dalam suhu rendah | Mudah pecah, tidak tahan bahan kimia | Kotak CD, Mainan, | v |
| 7 Other | campuran | ABS, PLA, Nylon, baik untuk didaur ulang | Sulit diidentifikasi, tidak aman | - | x |

(Sumber: *Preciousplastic.com*, 2020)

Daur Ulang Plastik

Agar dapat berjalan dengan efektif dan efisien, daur ulang plastik idealnya melibatkan peran-peran yang utuh dalam sebuah ekosistem yang sehat. Berikut ini adalah peran yang perlu ada dan jumlah yang tepat untuk membangun dan menghidupi ekosistemnya.



Gambar 2. Peta dan jumlah peran yang dibutuhkan untuk ekosistem daur ulang ideal
(Sumber: *preciousplastic.com*)

Spesifikasi ketersediaan ruang dan alat yang dibutuhkan oleh tiap-tiap peran:

1. Collection point

Target dari peran ini adalah mengumpulkan sebanyak mungkin plastik bersih dan mengelompokkan serta menyalurkannya ke *Shredder Workspace*.

| Setup | | Run | |
|-------------|--------------|-------------------|-------|
| Investment | 200€ to 1K € | Difficulty | ☆☆ |
| People | 2-3 | Technical | ☆ |
| Build time | 2-3 weeks | Revenue | ☆ |
| Space | 30 msq | Plastic processed | ☆☆☆☆☆ |
| Electricity | 220V | Time commitment | ☆☆☆ |




Gambar 3. Collection point (Sumber: *Preciousplastic.com*)

2. Community point

Tempat di mana para anggota komunitas dapat berkumpul dan berjejaring. Target dari peran ini adalah membangun jaringan kerjasama lokal yang kuat dalam bahu-

membantu menjaga keberlangsungan kerja komunitas.

| Setup | | Run | |
|-------------|------------|-------------------|--------|
| Investment | Low | Difficulty | ☆☆☆☆ |
| People | 1-10 | Technical | ☆☆ |
| Setup time | 2 weeks | Revenue | ☆☆ |
| Space | Not needed | Plastic processed | ☆☆ |
| Electricity | 220V | Time commitment | ☆☆☆☆☆☆ |




Gambar 4. Community point (Sumber: Preciousplastic.com)

3. Machine shop

Penyedia jasa terkait pembuatan maupun perbaikan mesin. Produk yang dihasilkan berupa bagian-bagian mesin maupun mesin secara keseluruhan.

| Setup | | Run | |
|-------------|---------------|-------------------|--------|
| Investment | 0 to 10K € | Difficulty | ☆☆☆☆ |
| People | 2-4 | Technical | ☆☆☆☆☆☆ |
| Setup time | 4-6 weeks | Revenue | ☆☆☆☆☆☆ |
| Space | 50 to 100 msq | Plastic processed | ☆☆ |
| Electricity | 380V | Time commitment | ☆☆☆☆☆☆ |




Gambar 5. Machine Shop (Sumber: Preciousplastic.com)

4. Shredder workspace

Mesin pencacah berfungsi mencacah plastik hingga siap untuk diolah lagi menggunakan mesin berikutnya. Cacahan yang dihasilkan dapat diatur ukurannya.

| Setup | | Run | |
|-------------|--------------------|-------------------|--------|
| Investment | 5 to 16K € | Difficulty | ☆☆ |
| People | 2 | Technical | ☆☆ |
| Build time | 4-6 weeks | Revenue | ☆☆☆☆ |
| Space | 30 msq | Plastic processed | ☆☆☆☆☆☆ |
| Electricity | 380V / 16AMP / 3KW | Time commitment | ☆☆☆☆☆☆ |




Gambar 6. Shredder workspace (Sumber: Preciousplastic.com)

5. Extrusion workspace

"Plastic pellets are poured into the top spout and electrically heated, melting them down; they are squeezed out into baroque forms." (Seetal Solanki, 2018: 174). Mesin ini melelehkan plastik. Dengan memasukkan lelehan ke cetakan maka mesin dapat menghasilkan bentukan volume pejal.

| Setup | | Run | |
|-------------|--------------------|-------------------|--------|
| Investment | 6 to 16K € | Difficulty | ☆☆☆☆ |
| People | 2 | Technical | ☆☆ |
| Build time | 4-6 weeks | Revenue | ☆☆☆☆ |
| Space | 30 msq | Plastic processed | ☆☆☆☆ |
| Electricity | 380V / 16AMP / 3KW | Time commitment | ☆☆☆☆☆☆ |




Gambar 7. Extrusion workspace (Sumber: Preciousplastic.com)

6. Sheetpress workspace

Merupakan pasangan mesin hidrolik dan loyang. Cacahan plastik ditaburkan merata pada loyang dan dilelehkan sambil ditekan dari atas.

| Setup | | Run | |
|-------------|----------------------|-------------------|--------|
| Investment | 9 to 22K € | Difficulty | ☆☆☆ |
| People | 2-3 | Technical | ☆☆☆ |
| Build time | 4-6 weeks | Revenue | ☆☆☆☆ |
| Space | 50 msq | Plastic processed | ☆☆☆☆☆☆ |
| Electricity | 400V / 32AMP / 1.5KW | Time commitment | ☆☆☆☆☆☆ |

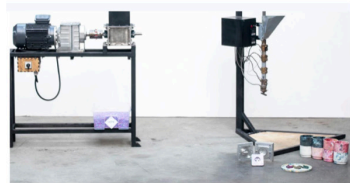


Gambar 8. Sheetpress workspace (Sumber: Preciousplastic.com)

7. Injection workspace

Meksi mirip dengan *extrusion machine*, bedanya, mesin ini memanaskan dan memproduksi hasil lelehan dengan menggunakan tenaga manusia.

| Setup | | Run | |
|-------------|--------------------|-------------------|--------|
| Investment | 4 to 12K € | Difficulty | ☆☆ |
| People | 2-3 | Technical | ☆☆ |
| Build time | 3-4 weeks | Revenue | ☆☆☆☆ |
| Space | 30 msq | Plastic processed | ☆☆ |
| Electricity | 400V / 16AMP / 3KW | Time commitment | ☆☆☆☆☆☆ |

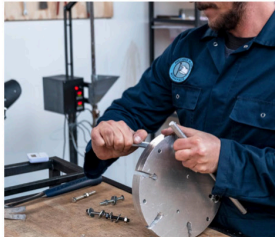


Gambar 9. Injection workspace (Sumber: Preciousplastic.com)

8. Mix workspace

Ruang kerja ini terdiri dari berbagai kombinasi mesin, cocok untuk eksplorasi desain serta dapat menjadi sarana edukasi bagi publik.

| Setup | | Run | |
|-------------|--------------------|-------------------|--------|
| Investment | 2 - 10K € | Difficulty | ☆☆☆☆ |
| People | 2-4 | Technical | ☆☆ |
| Build time | 4-6 weeks | Revenue | ☆☆ |
| Space | 50 msq | Plastic processed | ☆☆ |
| Electricity | 380V / 16AMP / 3KW | Time commitment | ☆☆☆☆☆☆ |



Gambar 10. Mix workspace (Sumber: Preciousplastic.com)

Phillips (2019:153) menceritakan, “*Precious plastics’ goal is to develop the ultimate plastics recycling machinery and share open-source plans online they want to empower people internationally to download designs and build machines, and to start locally productive, plastic recycling centers.*”

Di Indonesia, komunitas Precious Plastic tersebar di pulau Jawa; Precious Plastic - Banten (*Community Point*), Jaya Presisi Engineering - Majalengka (*JPE*) (*Machine Shop*), Erga Teknik – Wonosari (*Machine Shop*), By Human- Jogjakarta. (*Injection Workspace*), Venera Wrap – Surabaya (*Mix Workspace*).



Gambar 11. Persebaran Precious Plastic indonesia (Sumber: Preciousplastic.com)

Studi Kasus – Praktik Daur Ulang Plastik dalam Arsitektur

Elemen arsitektur dibedakan menjadi tiga berdasarkan fungsinya: lantai untuk berpijak,

dinding untuk membatasi ruangan dan menopang atap, serta atap untuk menaungi ruang. Berikut ini adalah studi kasus pemanfaatan plastik daur ulang untuk ketiga elemen tersebut beserta elemen pelengkapannya, yaitu furnitur.

1. Lantai

Nama proyek : Paving Blok
Tahun : 2013
Limbah : Botol plastik

Telah terdapat beberapa inisiatif lokal di Indonesia terkait usaha daur ulang plastik untuk paving blok. Di antaranya dilakukan oleh: Hendro Wibowo pada tahun 2013 di Desa Sukaluyu, Kecamatan Telukjambe Timur, Karawang; Muhammad Kusaeni dari Karang Taruna Karya Muda Sejahtera pada tahun 2018 di Desa Brumbung, Kecamatan Mranggen, Kabupaten Demak; serta Syamfitriani Asnur dan Arman Setiawandari Universitas Bosowa pada tahun 2019, di Makassar.

Alasan material PET dipilih sebagai jenis plastik yang digunakan adalah selain karena memiliki nilai tinggi, upaya ini juga diharapkan mampu membantu mengurangi jumlah sampah plastik (Antara, 2019).

Berdasarkan Hamid (2018), harga untuk paving yang berwarna hitam bisa mencapai Rp 150.000,00 per meter dan yang berwarna dijual dengan harga kisaran Rp 175.000,00 – Rp 200.000,00 per meter.



Gambar 12. Daur ulang plastik untuk paving blok (Sumber: “Mengubah Sampah Plastik Non-ekonomis jadi Paving Blok”, diambil dari <https://regional.kompas.com/read/2019/04/01/07045581/mengubah-sampah-plastik-non-ekonomis-jadi-paving-blok?page=all>; <https://www.suaramerdeka.com/smcetak/baca/148680/ubah-sampah-plastik-jadi-paving-block>; <https://tekno.tempo.co/read/1258997/dosen-universitas-bosowa-bikin-paving-block-dari-limbah-plastik>)

2. Dinding

a. Nama proyek : PET Pavilion, Public Space in a changing Society
Tahun : 2017
Tempat : Amsterdam, Belanda
Arsitek : Project.DWG and LOOS.FM
Limbah : Botol plastik

Pavilion ini berangkat dari usaha memberdayakan kembali lahan yang mati. Dimulai dari keinginan memunculkan kesadaran dan dialog publik perihal kesehatan lingkungan, pavilion ini mempelajari sampah plastik sebagai material bangunan. Hasilnya adalah struktur baja yang sama dengan Farnsworth House (karya Ludwig Mies van der Rohe), namun dengan dinding yang diisi dengan botol plastik.





Gambar 13 Contoh penggunaan material plastik untuk bangunan publik guna meningkatkan kesadaran perihal kesehatan lingkungan (Sumber: <https://inhabitat.com/plastic-waste-pop-up-pavilion-rethinks-recycling-in-the-netherlands/>)

- b. Nama proyek : EcoARK recycled plastic bottle building
Tahun : 2010
Tempat : Taipei, Cina
Arsitek : Arthur Huang
Limbah : botol PET hasil daur ulang

Bangunan anti api dan tahan gempa ini memiliki fasade yang terbuat dari 1.5 juta botol plastik daur ulang yang disebut polli-bricks, yaitu sistem bata berbentuk botol yang didesain sedemikian rupa sehingga memiliki sistem interlock yang memungkinkan keterhubungan satu sama lain. Setelah membentuk dinding, permukaan bangunan ini dilapisi lapisan anti air dan api dan ditopang oleh struktur baja. Dengan sistem ini fasade bangunan dapat menahan terpaan angin hingga 130km/jam. Selain itu, bahan botol yang tembus cahaya memungkinkan cahaya natural untuk berpendar di dalam bangunan. Ruanganpun relatif tidak memerlukan AC karena botol yang sudah berperan sebagai insulasi panas.



Gambar 14. Tampak bangunan dan struktur dinding botol plastik daur ulang (Sumber: <https://inhabitat.com/amazing-plastic-bottle-architecture-withstands-earthquakes-in-taipei/>)

- c. Nama proyek : Two Bed-room Bungalow
Tahun : 2011
Tempat : Kaduna, Nigeria
Arsitek : Development Association for Renewable Energies (DARE)
Limbah : botol plastik

Lembaga Swadaya Masyarakat di Nigeria, DARE, menginisiasi pembangunan rumah dari limbah setempat. Rumah yang seluruh dindingnya terbuat dari botol plastik berisi pasir ini dirancang anti peluru dan api, sekaligus tahan gempa. Dinding juga menjaga suhu rumah berkisar di 17 derajat Celcius sepanjang tahun.



Gambar 15. Rumah dari botol plastik pertama di Nigeria (Sumber: <https://inhabitat.com/africas-first-plastic-bottle-house-rises-in-nigeria/>)

- d. Nama proyek : Zero electricity air-con
 Tahun : 2017
 Tempat : Bangladesh
 Arsitek : Ashis Paul (perusahaan: Grey Dhaka)
 Limbah : botol plastik

Menjawab kebutuhan pendingin ruangan dengan harga yang terjangkau, Grey Dhaka (agen periklanan dan marketing dari Grey Group), mendesain modul dinding yang dapat meniupkan angin ke dalam ruangan; Badan botol dihadapkan ke luar bangunan sehingga dapat menangkap angin, Sedangkan mulut botol (berdiameter lebih kecil) dihadapkan pada bagian dalam bangunan sehingga menyalurkan angin dengan tekanan yang lebih kencang.

Make your own e-cooler

Align Right :

1. Lots of plastic bottles
2. A sturdy board (the size of your window)
3. Scissors or a pen-knife



Step 1: Cut holes on the board, they should be the size of the rim of the bottle. Ensure that the holes are spaced out enough to accommodate the body of the bottles.



Step 2: Cut the bottles in half, crosswise.



Step 3: Carefully cut away the tops of the bottle caps.



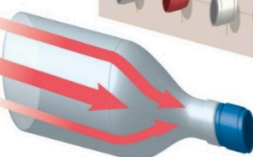
Step 4: Mount the cut bottles on the board. Secure them by screwing on the bottle caps on the other side.



Step 5: Fix your eco-cooler on the window, with the bottle necks facing inwards.

How it works:

- 1 When hot air rushes into the bottle, the gas contracts as it approaches the rim of the bottle. This results in a decrease in pressure.



- 2 Based on the Venturi Effect, the drop in pressure results in an increase in velocity, which is what gives the air its cooling effect.

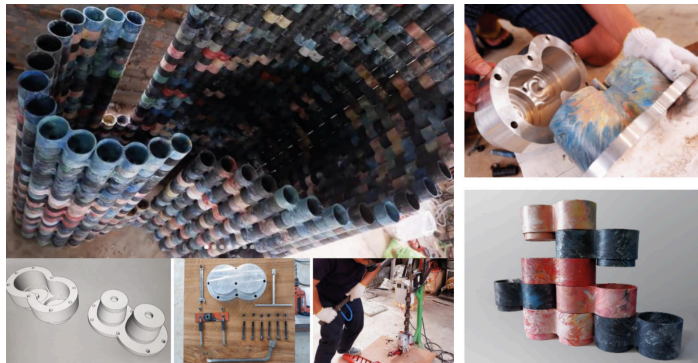
STRAITS TIMES GRAPHICS: CELESTINO GULAPA D ROSA



Gambar 16. Dinding peniup angin (Zero electricity air-con) (Sumber: <https://www.straitstimes.com/world/zero-electricity-air-con-made-of-plastic-bottles>)

- e. Nama proyek : Interlocking brick
Tahun : 2019
Tempat : Thailand
Arsitek : BOPE
Limbah : botol plastik

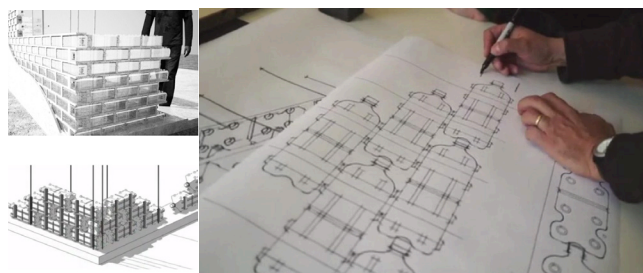
Ekplorasi ini bertujuan untuk membuat modul komponen dinding yang dapat disusun sehingga membentuk dinding yang melengkung. Dengan menggunakan sistem tumpuk seperti lego, dan dengan menggunakan bentuk lingkaran sebagai bentuk dasarnya, *Interlocking brick* dapat membuat dinding solid yang melengkung.



Gambar 17. Interlocking Brick (Sumber: Preciousplastic.com)

- f. Nama proyek : Drinkabrick
Tahun : 2014
Tempat : Santiago, Chile
Arsitek : Marcos Ortiz, Maria Jose Vargas
Limbah : botol plastik

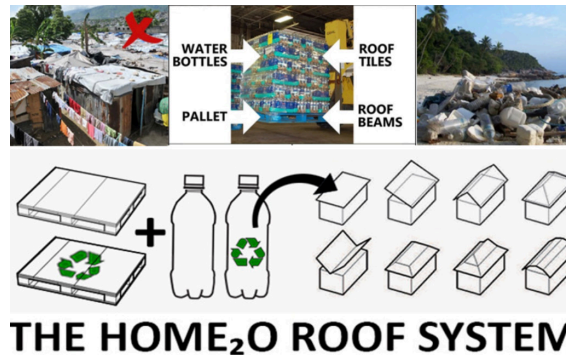
Drinkabrick merupakan sebuah sistem konstruksi yang memanfaatkan botol plastik berbentuk bata untuk menjadi material pengisi dinding semen. Usaha ini mengajak produsen minuman dengan botol plastik untuk membuat kemasan berbentuk bata yang dapat disusun sebagai dinding.



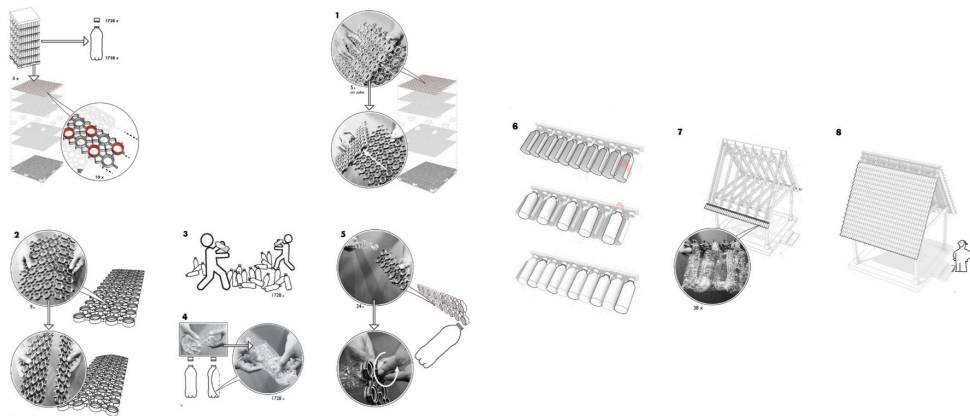
Gambar 18 Drinkabrick (Sumber: <https://drinkabrick.wixsite.com/home>)

3. Atap
Nama proyek : Soda Bottle Interface Bracket (SodaBIB)
Tahun : 2013
Tempat : Filipina
Arsitek : Mahasiswa New York Institute of Technology (NYIT),
School of Architecture
Limbah : Botol plastik

Berintensi membantu bencana angin topan di Filipina, sekelompok mahasiswa dari NYIT melakukan penggalangan dana untuk merealisasikan desain atap untuk rumah sederhana bagi para pengungsi. Terinspirasi dari modul-modul atap Spanyol, desain ini menggunakan seluruh bagian dari paket pengiriman botol soda untuk membangun sebuah bentukan atap.



Gambar 19. Logika desain *Soda BIB* (Sumber: <https://www.archdaily.com/449212/nyit-students-turn-plastic-bottles-into-disaster-relief>)



Gambar 20. Diagram pembuatan atap *Soda BIB* (Sumber: <https://www.archdaily.com/449212/nyit-students-turn-plastic-bottles-into-disaster-relief>)

4. Pelengkap (furnitur)

Kantor arsitektur asal Meksiko, Paola Calzada Arquitectos, memproduksi furnitur dengan berbahan dasar plastik daur ulang yang dibentuk menjadi pelat datar dan serat kayu. Furnitur tersebut dibuat dalam 1 rangkaian kursi dan meja untuk anak-anak yang dapat dirakit tanpa paku dan lem. Penggunaannya bisa untuk di dalam ruangan maupun di luar ruangan.



Gambar 21. Furniture dari olahan limbah plastik dan serat kayu
(Sumber: <http://www.koran-jakarta.com/indahny-furnitur-dari-daur-ulang-plastik/>)

Simpulan Teori dan Studi Kasus

Berdasarkan studi kasus yang telah dilakukan didapati bahwa pembuatan plastik untuk industri arsitektur sejauh ini sudah dilakukan pada seluruh elemen arsitektur, yaitu meliputi: lantai, dinding, atap, dan bahkan furnitur.

Berikut ini adalah syarat praktik daur ulang yang dapat dilanjutkan eksplorasinya melalui penelitian ini:

1. Dapat dilakukan oleh industri kecil
2. Memiliki eksplorasi desain tingkat 'sedang' – 'tinggi'
3. Bertujuan menghasilkan material untuk pemakaian yang permanen
4. Dan memiliki pertanyaan lanjutan yang bersifat arsitektural (terkait bentuk dan kualitas ruang yang dihasilkan).

Melihat syarat tersebut, maka beberapa hal yang perlu menjadi catatan dalam studi kasus adalah:

1. Praktik pembuatan *Paving block* sudah dilakukan oleh cukup banyak inisiatif, termasuk hingga uji kekuatan. Dengan demikian tidak ada pertanyaan lanjutan yang penting dan mendesak untuk praktik daur ulang ini.
2. Daur ulang PET berbahaya jika dilakukan oleh industri rumah tangga tanpa sistem penanggulangan polutan. Sedangkan pada studi kasus, praktik pada proyek "*EcoARK recycled plastic bottle building*" merupakan praktik daur ulang berskala besar. Praktik ini tidak dapat diakomodir oleh penelitian ini.
3. Praktik daur ulang pada proyek "*Two Bed-room Bungalow*" di Nigeria dan "*PET Pavilion*" merupakan praktik yang tidak secara signifikan melibatkan proses desain yang eksploratif, melainkan hanya menggunakan limbah plastik apa adanya. Praktik ini bukan merupakan jenis yang dimaksudkan untuk dieksplorasi pada penelitian ini.
4. Praktik daur ulang pada proyek "*Soda Bottle Interface Bracket (SodaBIB)*" ditujukan untuk keperluan bangunan temporer. Hal ini masih belum menjawab tujuan penelitian.
5. "*Drinkabrick*" menawarkan sebuah solusi praktik daur ulang ideal namun memiliki ketergantungan yang besar pada produsen minuman. Strategi ini belum dapat diaplikasikan pada konteks Indonesia.

Tabel 2 Ringkasan hasil studi kasus.

| no | proyek | Industri besar /kecil | Tingkat eksplorasi | Temporer-permanen | Pertanyaan lanjutan |
|----|--------------------------|-----------------------|--------------------|-------------------|---|
| 1 | Paving Block | kecil | sedang | permanen | - |
| 2 | PET Pavilion | kecil | rendah | permanen | - |
| 3 | EcoARK | besar | tinggi | permanen | - |
| 4 | Two Bed-room Bungalow | kecil | rendah | permanen | - |
| 5 | Zero electricity air-con | kecil | tinggi | permanen | Bagian badan botol, yang merupakan jenis plastik PET, mudah rusak dan kurang terlihat durable sebagai material bangunan permanen. Dapatkah HDPE diolah sehingga memiliki bentuk yang sejenis? |
| 6 | Interlocking brick | kecil | tinggi | permanen | Interlocking brick menghasilkan dinding solid. Apakah ada pengolahan desain lain yang memungkinkan terbentuknya dinding yang dapat mengalirkan udara dan cahaya? |
| 7 | SodaBIB | kecil | tinggi | temporer | - |
| 8 | Drinkabrick | besar | tinggi | permanen | - |

(Sumber: Laoda, 2020)

Berangkat dari tabel di atas, penelitian ini bermaksud mengeksplorasi daur ulang plastik untuk bahan elemen: pengisi lantai, pengisi atap, dinding yang dapat mengalirkan udara, struktur balok, serta furnitur. Melalui penelitian ini, metode yang digunakan untuk menghasilkan prototipe tersebut akan dicatat dan dianalisis peran, penggunaan sumber daya, serta potensi pengembangannya.

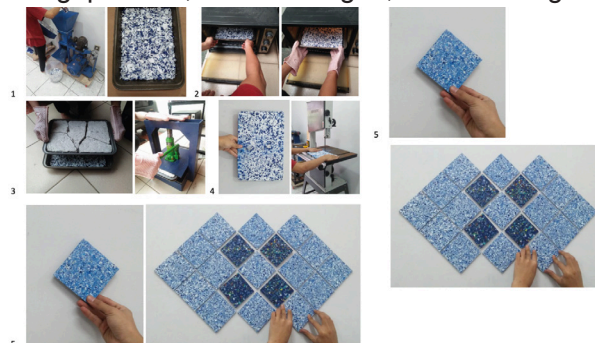
Adapun berdasarkan proses daur ulangnya, material plastik yang mungkin dipakai adalah yang bertipe HDPE. Selain karena jumlahnya yang banyak dan mudah ditemukan, jenis plastik ini termasuk ke dalam jenis plastik yang aman untuk didaur ulang.

Metode yang digunakan adalah metode “pencacahan” dan “heat press”, dimana plastik yang akan didaur ulang akan dibuat menjadi pelat terlebih dahulu baru kemudian dibentuk sesuai dengan desain yang direncanakan.

Tipe-tipe plastik tersebut dapat ditemukan pada sampah plastik yang berupa: tutup botol kemasan minuman, botol shampoo, kantong kresek.

METODOLOGI

Penelitian ini berinti pada kegiatan eksperimen. Dengan bekerjasama dengan Mortier ID, sebuah *home industry* yang berkonsentrasi pada material plastik, dan dengan melihat kesiapan dari sisi praktis yaitu batasan alat, tenaga, bahan material, tempat dan waktu, maka penelitian akan menjalankan tahap daur ulang sebagai berikut: 1. Pencacahan, 2. Pengovenan, 3. Pengepressan, 4. Pemotongan, 5. Pemasangan.



Gambar 22. Tahap-tahap dalam metode daur ulang HDPE
(Sumber: data pribadi Mortier.ID, 2020)

Berdasarkan metode tersebut, maka eksperimen yang dapat dilakukan adalah sebagai berikut:

Tabel 3 Daftar produk elemen bangunan yang dibuat, sumber plastik dan perannya.

| No | Elemen bangunan | Jenis plastik dan bentuk limbahnya | Peran elemen |
|----|-----------------|------------------------------------|--------------|
| 1 | Wall/roof tiles | HDPE, tutup botol air mineral | Pengisi |
| 3 | Beam | | Struktur |
| 4 | Kerawang C | | Pengisi |
| 5 | Kerawang P | | Pengisi |
| 6 | Meja | | Furnitur |

(Sumber: Laoda, 2020)

Hal-hal yang akan diteliti dari eksperimen di atas adalah:

1. Metode daur ulang yang diperlukan untuk membuat elemen yang dimaksud terkait dengan:
 - Jumlah tutup botol (berat dalam ‘gram’) yang diperlukan untuk membuat

- elemen yang dimaksud
- Waktu yang diperlukan untuk melakukan pengovenan elemen bangunan yang dimaksud
2. Perhitungan jumlah elemen yang diperlukan untuk menghasilkan 1m² bidang pengisi
 3. Potensi pengembangan penelitian untuk tiap-tiap elemen

PEMBAHASAN

Berikut ini adalah catatan pemakaian bahan dan waktu yang dibutuhkan untuk proses pembuatan tiap-tiap produk:

Tabel 3 Daftar produk elemen bangunan yang dibuat, sumber plastik dan perannya.

| No | Elemen Bangunan | Ukuran (cm) | Metode | | | | | Berat (gram) | Waktu (menit) | Jumlah yang dihasilkan |
|----|-----------------|-------------|--------|-----------------|-------|--------|--------|--------------|---------------|------------------------|
| | | | cacah | oven Suhu 200°C | press | potong | pasang | | | |
| 1 | Wall/roof Tiles | 10x10x0.5 | v | v | v | v | v | 250 | 20 | 6 unit |
| 2 | Balok | 4x10x60 | v | v | v | v | v | 2000 | 10 | 1 batang |
| 3 | Kerawang C | 15x20x0.5 | v | v | v | v | v | 80 | 15 | 1 unit |
| 4 | Kerawang P | 15x20x0.2 | v | v | v | v | v | 250 | 20 | 1 unit |
| 5 | Meja | 40x40x40 | v | v | v | v | v | 11000 | 60 | 3 pelat dijadikan 1 |

(Sumber: Laoda, 2020)

Berdasarkan pembuatan prototipe yang dilakukan, sesuai dengan fungsi elemen bangunan yang diintensikan, didapati bahwa ketiga elemen bangunan dapat dikelompokkan menjadi 3 jenis. Berikut adalah pembahasannya:

1. Kelompok elemen pengisi

Yang termasuk dalam kelompok ini adalah *wall* dan *roof tiles*, serta kerawang (baik tipe C maupun P). Sebagai elemen pengisi, ukuran ketiga jenis elemen ini mempengaruhi jumlah repetisi proses, bahan dan waktu yang diperlukan untuk menghasilkan bidang dinding maupun atap dengan luas tertentu. Satu kali proses pengovenan dapat menghasilkan 6 unit *wall* dan *roof tiles*. Sedangkan satu kali proses pengovenan yang sama menghasilkan 1 unit dari masing-masing kerawang C dan P. Berikut adalah perhitungan repetisi proses serta bahan dan waktu yang perlu dilakukan untuk membuat bidang dinding maupun atap seluas 1m².

Tabel 5 Analisa perhitungan bahan dan waktu proses tiap-tiap produk.

| No | Elemen Bangunan | Ukuran (cm) | Jumlah yang dihasilkan | Jumlah yang dibutuhkan | Repetisi proses | Berat (gram) | Waktu (menit) |
|----|-----------------|-------------|------------------------|------------------------|-----------------|--------------|---------------|
| 1 | Wall/roof Tiles | 10x10x0.5 | 6 unit | 100 unit | 17x | 4250 | 340 |
| 2 | Kerawang C | 15x20x0.5 | 1 unit | 33 unit | 33x | 2640 | 495 |
| 3 | Kerawang P | 15x20x0.2 | 1 unit | 33 unit | 33 x | 8250 | 660 |

(Sumber: Winnerdy, 2020)

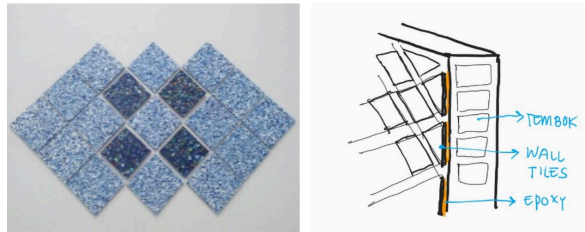
Ketiga elemen bangunan ini memiliki kesamaan dalam kisaran jumlah tutup botol yang diperlukan untuk satu kali proses pengovenan, yaitu kurang dari 300gram / proses. Adapun jumlah bahan dan waktu pengovenan yang diperlukan secara spesifik berbeda, tergantung dari besaran dan bentuk cetakan yang juga dapat dibuat beragam.

Perbedaan antara *wall* dan *roof tiles* dengan kerawang ada pada proses pemasangan

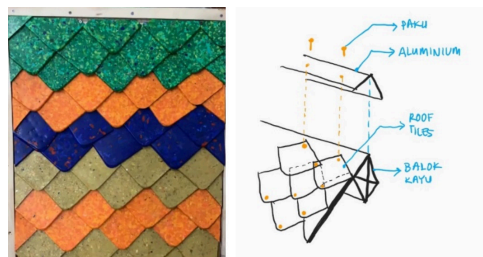
dan fungsinya. Berikut adalah ilustrasi pemasangan tiap-tiap elemen bangunan.

a. *Wall dan roof tiles*

Wall tiles dipasang dengan cara ditempel ke permukaan dinding dengan menggunakan *epoxy*. Sedangkan *roof tiles* dikaitkan ke “rang” pada struktur atap sehingga susunannya saling menumpuk untuk mencegah rembesan air ke dalam bangunan.



Gambar 23. Hasil dan cara pemasangan *wall tiles*
(Sumber: data pribadi Mortier ID, Fernisia, 2020)



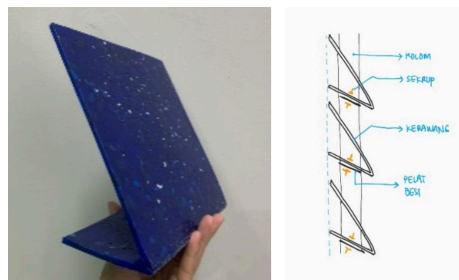
Gambar 24. Hasil dan cara pemasangan *roof tiles*
(Sumber: data pribadi Mortier ID, Fernisia, 2020)

b. Kerawang

Baik tipe C maupun P, kerawang yang dicobakan sejauh ini masih memerlukan rangka bantuan untuk konstruksinya. Arah hadap kerawang diatur sehingga angin yang menerpa dinding sebelah luar masuk melalui bukaan kerawang yang besar dan menyembur ke dalam bangunan melalui bukaan kewartang yang kecil.



Gambar 25. Hasil dan cara pemasangan Kerawang C
(Sumber: data pribadi Mortier ID, Fernisia, 2020)



Gambar 26. Hasil dan cara pemasangan Kerawang P
(Sumber: data pribadi Mortier ID, Fernisia, 2020)

Rencana keberlanjutan penelitian untuk ketiga elemen bangunan ini adalah sebagai berikut:

- *Wall* dan *roof tiles*: sebagai pengisi bidang bangunan yang terpapar matahari, bagaimanakah cara mengantisipasi maupun menanggulangi rusaknya plastik karena panas? Apakah mungkin mencampurkan bahan plastik dengan bahan lainnya?
- Kerawang tipe C dan P: Karena fungsinya memasukkan angin ke bagian indoor bangunan, maka efisiensi penggunaan bahan jadi dimungkinkan dengan memperbesar lubang kerawang, dengan demikian jumlah tutup botol yang digunakan juga menjadi lebih sedikit. Penelitian dapat dilanjutkan dengan mengeksplorasi bentuk untuk: 1) memperbesar lubang, 2) memungkinkan kerawang untuk memiliki sambungan yang dapat menopang dirinya sendiri (seperti lego).

2. Kelompok elemen struktural

Waktu yang dibutuhkan untuk proses pengovenan elemen balok terbilang rendah jika dibandingkan dengan elemen-elemen lainnya. Hal ini dikarenakan mesin yang digunakan mempercepat proses pengerjaan itu sendiri. Jika dengan metode oven dan press, maka langkah pengerjaan yang dibutuhkan lebih banyak. Berbeda dengan mesin *extrusion*, segala proses hanya dalam sekali tekan sehingga waktunya pun lebih singkat. Proses yang terjadi adalah cacahan plastik dimasukan ke dalam mesin. Di dalam pipa mesin, cacahan plastik dilelehkan kemudian didorong untuk memenuhi cetakan yang ada.



Gambar 27. Hasil Ekstrusi Balok Plastik (Sumber: Mortier ID, 2020)

Rencana keberlanjutan penelitian untuk elemen balok adalah terkait tes kekuatan struktur, serta teknik penyambungan/*joint* balok.

3. Kelompok elemen pelengkap

Meja kecil ini tersusun dari 3 pelat yang berukuran 40 x 40 x 2 cm. Ketiga pelat ini kemudian disambungkan dengan membaut pada bagian join.



Gambar 28. Hasil Meja Plastik (Sumber: Mortier ID, 2020)

Rencana keberlanjutan penelitian untuk elemen furnitur (khususnya kursi) adalah terkait bentuk yang lebih ergonomis.

SIMPULAN & REKOMENDASI

Dengan dapat didaur ulangnya plastik, bahan sintetis yang dapat merusak lingkungan, menjadi bahan bangunan, maka bidang ilmu arsitektur bukan hanya mendapatkan kekayaan kosakata baru dalam eksplorasinya dalam memperindah kehidupan manusia, namun juga ikut berkontribusi dalam menyelamatkan alam.

Penelitian yang merupakan langkah awal ini, berhasil memetakan garis besar kemungkinan-kemungkinan penggunaan material daur ulang plastik sebagai bahan bangunan. Gambaran ini dapat menjadi basis bagi eksplorasi lebih lanjut yang dapat dilakukan baik di dalam studio desain dalam pendidikan formal arsitektur, maupun dalam industri rumah tangga.

Sejauh ini, penelitian berhasil menjawab pertanyaan yang dirumuskan. Pertama, perihal cara-cara pengolahan plastik menjadi bahan bangunan. Melalui proses pencacahan, pengovenan, pengepressan, pemotongan, dan pemasangan, plastik HDPE dapat digubah menjadi bentuk-bentuk dasar yang dapat diolah lebih lanjut menjadi bahan bangunan yang siap pakai. Untuk menjalankan proses ini, satu individu/komunitas dapat secara sekaligus melaksanakan tiap-tiap proses secara mandiri, maupun dapat berkonsentrasi mengambil satu bagian pada tahap-tahap yang ada dalam komunitas produksi yang lebih besar.

Bentuk material yang dapat dihasilkan bervariasi dari yang perannya sebagai pengisi, struktural, maupun pelengkap bagian bangunan. Namun demikian, kualitas ketahanan maupun efisiensi jumlah bahan dan tenaga yang dibutuhkan untuk menghasilkan masing-masing elemen tersebut masih perlu distudi lebih lanjut secara terfokus.

Penelitian terkait material pengisi dilanjutkan dengan menstudi perihal ketahanan material plastik terhadap cuaca, terutama untuk dinding eksterior. Penelitian ini memerlukan kolaborasi dengan Teknik industri dan Teknik kimia. Selain itu, bentuk elemen perlu dieksplorasi pula agar dapat tersusun tanpa perlu penyambung berupa paku / sekrup, sehingga memungkinkan elemen untuk menopang beratnya sendiri (seperti lego). Khusus untuk keperluan dinding kerawang, perlu ada eksplorasi bentuk untuk mendapatkan ukuran lubang angin yang berbeda-beda sesuai kebutuhan. Penelitian tentang material struktural dapat dilanjutkan dengan melakukan tes kekuatan struktur, serta kaitannya dengan teknik penyambungan/*joint* balok. Sebagai material pelengkap bangunan, pembuatan desain furnitur dengan bentuk yang lebih ergonomis dan beragam variasi juga sangat berpotensi untuk dikembangkan.

Pada akhirnya, jika dilengkapi dengan penelitian lanjutan yang lebih terfokus pada jenis bahan bangunan tertentu sebagaimana yang disimpulkan di atas, diharapkan hasil penelitian ini dapat diaplikasikan dalam industri arsitektur baik dalam skala makro (pembangunan besar) maupun dalam skala kecil (komunal, dengan sistem DIY).

DAFTAR PUSTAKA

Antara. (2019). *Dosen Universitas Bosowa Bikin Paving Block dari Limbah Plastik*. Retrieved Februari 17, 2020, from <https://tekno.tempo.co/read/1258997/dosen-universitas-bosowa-bikin-paving-block-dari-limbah-plastik>

- Baldwin, E. (2013). NYIT Students Turn Plastic Bottles Into Disaster Relief. Retrieved Februari 17, 2020, from <https://www.archdaily.com/449212/nyit-students-turn-plastic-bottles-into-disaster-relief>)
- Drinkabrick. (2020). Retrieved Februari 17, 2020, from <https://drinkabrick.wixsite.com/home>)
- Farhan, F. (2019). Mengubah Sampah Plastik Non-ekonomis jadi Paving Blok Why Is Everyone Making Vertical Music Videos? Retrieved Februari 17, 2020, from <https://regional.kompas.com/read/2019/04/01/07045581/mengubah-sampah-plastik-non-ekonomis-jadi-paving-blok?page=all>
- Hamid, H. (2018). Ubah Sampah Plastik Jadi Paving Block. Retrieved Februari 17, 2020, from <https://www.suaramerdeka.com/smcetak/baca/148680/ubah-sampah-plastik-jadi-paving-block>;
- Laylin, T. (2011). *Africa's First Plastic Bottle House Rises in Nigeria*. Retrieved Februari 17, 2020, from: <https://inhabitat.com/africas-first-plastic-bottle-house-rises-in-nigeria/>)
- Nowshin, N. (2017). *Zero electricity air-con made of plastic bottles*. Retrieved Februari 17, 2020, from: <https://www.straitstimes.com/world/zero-electricity-air-con-made-of-plastic-bottles>)
- Phillips, R. (2019). *Futurekind: Design by and for the People*. London: Thames & Hudson Precious Plastics. Retrieved from <https://www.preciousplastic.com>
- Solanki, S. (2018). *why Materials Matter: Responsible Design for a better World*. New York: Prestel Publishing.
- Wang, L. (2017). *Plastic waste pop-up pavilion rethinks recycling in the Netherlands*. Retrieved Februari 17, 2020, from: <https://inhabitat.com/plastic-waste-pop-up-pavilion-rethinks-recycling-in-the-netherlands/>)
- Wang, L. (2017). *Amazing building made from 1.5 million plastic bottles withstands fires and earthquakes*. Retrieved Februari 17, 2020, from: <https://inhabitat.com/amazing-plastic-bottle-architecture-withstands-earthquakes-in-taipei/>)
- Yun. (2018). *Indahnya Furnitur dari Daur Ulang Plastik*. Retrieved Februari 17, 2020, from <http://www.koran-jakarta.com/indahnyafurnitur-dari-daur-ulang-plastik/>)