

Pembangunan Rumah dan Showroom Untuk Kenyamanan Penghuni di Surabaya

Nikolaus Lukyanto, Jimmy Chandra, Hendra Tjahjadi
Prodi Pendidikan Profesi Insinyur, Universitas Kristen Petra
Jl. Siwalankerto, 121-131 Surabaya
nlukyanto@gmail.com
chandra.jimmy@petra.ac.id
hendratjahjadi.mail@gmail.com

Abstract — *The comfort of a residence is very crucial for its residents. The environment of a residence is influenced by various factors, including comfort and security. A Design and Build (D&B) contractor plays a significant role in designing a residential building, evaluating both aesthetic value (visual appearance) and structural design. Additionally, the contractor is responsible for the owner's satisfaction. In the construction of a house to create a comfortable atmosphere, several factors need to be considered, such as ergonomics, aesthetics, structural durability, community participation, and workforce. The ergonomics of a residential building impact energy efficiency, which, in turn, affects aspects such as operational cost reduction, energy conservation, and the creation of an environmentally friendly structure. The design of a building should consider ergonomic principles that support the physical needs of the homeowners. The aesthetics of a room can influence the psychological effects on its occupants. The structural durability of a building is a crucial part of the construction process influenced by factors such as structural design, the materials used, and supervision during construction. Permitting issues with neighbors and local environmental agencies significantly affect the work, especially in terms of job productivity. The workforce also has a significant impact on the job. The use of technology such as Building Information Modeling (BIM) can be a solution when there are many problems in understanding shop drawings and determining additional tasks during the construction process. Identifying risks and implementing risk management are necessary to increase awareness in determining which tasks require special attention to avoid workplace accidents.*

Intisari — Kenyamanan sebuah tempat tinggal sangat menjadi hal yang krusial bagi penghuninya. Lingkungan sebuah tempat tinggal dipengaruhi beberapa hal diantaranya kenyamanan dan keamanan. Seorang kontraktor Design and Build (D&B) memiliki peran penting dalam mendesain sebuah bangunan hunian yang dinilai dari nilai estetika (tampilan visual) dan desain struktur rumah. Selain itu kontraktor juga bertanggung jawab atas kepuasan owner. Dalam pembangunan rumah untuk menciptakan suasana yang nyaman perlu memperhatikan beberapa faktor, seperti ergonomi, estetika, ketahanan struktural, partisipasi masyarakat, dan pekerja. Keergonomisan sebuah bangunan tempat tinggal berpengaruh pada efisiensi energi. Efisiensi energi berpengaruh terhadap hal-hal seperti pengurangan biaya operasional, penghematan energi, dan membuat hunian menjadi sebuah bangunan ramah lingkungan. Pemilihan penggunaan Desain sebuah bangunan perlu memperhatikan prinsip ergonomi yang menunjang kebutuhan fisik pemilik hunian. Estetika pada sebuah ruangan dapat berpengaruh pada efek psikologis penghuninya. Ketahanan struktural sebuah bangunan juga merupakan bagian penting dalam proses pembangunan dimana dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti desain struktural, bahan bangunan yang digunakan, serta pengawasan selama masa konstruksi. Faktor perijinan dengan tetangga dan instansi lingkungan setempat sangat mempengaruhi pekerjaan terutama pada produktivitas pekerjaan. Tenaga kerja juga sangat berpengaruh terhadap pekerjaan. Penggunaan teknologi seperti BIM (Building Information Modelling) dapat menjadi solusi apabila terdapat hambatan dalam memahami gambar lokasi (shop drawing) dan penentuan pekerjaan tambahan selama proses pembangunan. Identifikasi risiko dan implementasi manajemen risiko perlu dilakukan untuk meningkatkan kesadaran dalam penentuan pekerjaan apa yang diperlukan perhatian khusus untuk menghindari adanya kecelakaan kerja.

Kata Kunci — *Kenyamanan, kontraktor, ergonomi, ketahanan struktural, lingkungan, pekerja, risiko*

I. PENDAHULUAN

Dengan semakin meningkatnya perkembangan teknologi baik di bidang infrastruktur maupun non infrastruktur, maka kebutuhan akan prasarana seperti gedung, jalan, jembatan, dan prasarana lain pada saat ini, meningkatkan penelitian untuk memenuhi kebutuhan alternatif material pembangunan konstruksi.

Tersedia berbagai jenis material di alam baik yang berupa material organik maupun non-organik, salah satunya adalah limbah plastik. Limbah plastik merupakan masalah

lingkungan terbesar karena materialnya tidak mudah terurai. Limbah ini memiliki bobot yang ringan sehingga plastik cenderung terangkat ke permukaan tanah ketika ditumbun dan mengotori lingkungan sekitar.

Indonesia merupakan negara dengan total penduduk sebanyak 273 juta. Berdasarkan laporan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) menyebut total sampah nasional pada tahun 2021 mencapai 68,5 juta ton. Dari jumlah itu, sebanyak 17 persen atau sekitar 11,6 juta ton disumbang oleh sampah plastik. Plastik merupakan salah satu jenis sampah anorganik yang tidak mudah untuk didaur ulang [7]. Limbah plastik jenis *high density polyethylene*

(HDPE) dan *polypropylene* (PP) termasuk jenis limbah yang tidak dapat didaur ulang dengan mudah. Penelitian ini mencoba menggunakan plastik sebagai bahan pengganti sebagian agregat kasar di dalam campuran beton. Penggunaannya sebagai bahan pengganti sebagian agregat kasar di dalam campuran beton juga untuk mengetahui persentase pengaruh limbah plastik / *high density polyethylene* (HDPE) dan *polypropylene* (PP) terhadap kuat tarik dan kuat tekan beton.

Beton dibentuk oleh pengerasan campuran yang terdiri atas semen, air, agregat halus, agregat kasar (pasir, batu pecah atau kerikil), udara, dan campuran bahan tambah lainnya. Jika berbagai unsur pembentuk beton tersebut dirancang dengan baik, maka hasilnya adalah bahan yang kuat, tahan lama, dan apabila dikombinasi dengan baja tulangan akan menjadi elemen yang utama pada suatu sistem struktur (Naway, 1990 dalam Metekohy, K., 2008) [3].

Beton mempunyai sifat dasar yang kuat terhadap gaya tekan (*compression*) tetapi lemah terhadap gaya tarik (*tension*), oleh karena itu pada elemen struktur beton yang direncanakan untuk menahan gaya tarik diberi penguatan dengan batang baja tulangan yang umumnya dikenal dengan stuktur beton bertulang. Pada umumnya elemen – elemen struktur yang sering ditemui pada konstruksi gedung, jalan dan jembatan menggunakan beton normal yang memiliki berat jenis sekitar 2400 kg/m³. Selain beton normal yang digunakan, ada berbagai macam jenis beton lainnya, seperti beton ringan, beton masa, beton ferosemen, beton serat, beton non-pasir, beton siklop, dan beton hampa (Tjokrodimuljo, 2007) [6].

Agregat, semen dan air dicampur sampai bersifat plastis, sehingga mudah dikerjakan. Sifat inilah yang memungkinkan beton dapat dicetak sesuai bentuk yang diinginkan. Dengan bercampurnya semen dengan air dan agregat, terjadi reaksi kimia yang umumnya bersifat hidrasi yang menghasilkan suatu pengerasan dan pertambahan kekerasan yang berlangsung terus – menerus pada suatu kelembaban dan suhu yang sesuai. Kekuatan beton dipengaruhi oleh sifat – sifat bahan, cara menakar, mencampur, dan cara – cara pelaksanaan pekerjaan (Murdock dan Brook, 1986, dalam Metekohy, K., 2008) [3].

Menurut (Tjokrodimuljo, 1992), menyatakan secara umum bahan penyusun beton dapat dibedakan menjadi dua bagian, yaitu bahan aktif dan bahan pasif. Bahan yang bersifat pasif adalah, agregat yang meliputi agregat kasar dan agregat halus yang merupakan bahan pengisi, sedangkan bahan aktif meliputi air dan semen yang merupakan bahan pengikat.

Menurut (Metekohy, K., 2008) dalam penelitiannya menggunakan jenis limbah plastik golongan termoplastik dari sub grup plastik komoditi HDPE dengan komposisi campuran antara semen, plastik, pasir, dan air untuk mendapatkan kuat tekan, berat jenis dan penyerapan maksimum dengan variasi 0%, 20%, 40%, 60%, dan 100%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin kecil persentase plastik yang digunakan dalam campuran beton maka kuat tekan dan berat jenis beton yang dihasilkan akan semakin kecil. Sebaliknya, semakin besar persentase plastik yang digunakan dalam campuran beton maka kuat tingkat penyerapan yang terjadi akan semakin besar [3].

Tujuan utama dari penelitian ini untuk mengetahui seberapa besar pengaruh penggantian sebagian agregat kasar (*split*) dengan limbah plastik HDPE dan PP hasil daur ulang terhadap komposisi campuran beton, dan untuk mengetahui persentase kuat tarik dan kuat tekan beton dengan limbah plastik HDPE dan PP hasil daur ulang sebagai pengganti sebagian agregat kasar (*split*) terhadap beton normal.

Manfaat dari penelitian ini adalah dapat memberikan suatu informasi bahwa penggunaan limbah plastik HDPE dan PP dari hasil daur ulang sebagai pengganti sebagian agregat kasar (*split*) dalam campuran beton dapat mempengaruhi kekuatan beton, secara umum jika penelitian ini berhasil maka diharapkan mampu mengurangi (*reduce*) tingkat pencemaran lingkungan yang diakibatkan oleh sampah plastik dan hasil penelitian ini juga diharapkan dapat memberikan informasi mengenai suatu alternatif baru mengenai agregat ringan untuk campuran beton.

II. LANDASAN TEORI

A. Pengertian Beton

Beton diperoleh dengan cara mencampur semen, air dan agregat atau dengan bahan tambahan (*admixture*) tertentu. Material pembentuk beton tersebut dicampur merata dengan komposisi tertentu untuk menghasilkan suatu campuran yang plastis sehingga dapat dituang dalam cetakan untuk dibentuk sesuai dengan keinginan. Campuran tersebut bila dibiarkan akan mengalami pengerasan sebagai akibat reaksi kimia antara air dan semen yang berlangsung selama jangka waktu yang panjang atau dengan kata lain campuran beton akan bertambah keras sejalan dengan umurnya. Sebagai material komposit, keberhasilan penggunaan beton tergantung pada perencanaan yang baik, pemilihan dan pengadaan masing – masing material yang baik, proses penanganan serta proses produksinya. Kekuatan, keawetan, kekedapan, berat jenis dan sifat beton yang lain tergantung pada sifat dan bahan dasar pembentuk, perbandingan bahan, dan cara pengerjaan (pengadukan, transportasi, penuangan, pemadatan, dan perawatan selama proses pengerasan beton (Tjokrodimuljo, K, 2007) [6].

B. Bahan Penyusun Beton

Beton merupakan campuran antara semen Portland atau semen hidrolik yang lain, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa tambahan (*chemical admixture dan additive*) yang membentuk massa padat. Beton normal adalah beton yang dibuat dengan agregat normal (pasir dan kerikil memiliki berat jenis normalnya antara 2,5 – 2,7), beton normal mempunyai berat jenis antara 2,3 – 2,4. Apabila dibuat dengan pasir atau kerikil yang ringan atau diberi rongga udara maka berat jenis beton dapat kurang dari 2,0 (Tjokrodimuljo, 2007) [6].

Pemilihan material yang baik dapat meningkatkan kualitas beton, karena kualitas beton yang diperoleh didominasi oleh kekuatan material dasar. Dalam penelitian ini ada dua jenis material pembentuk beton yang digunakan, yaitu :

1) *Material Utama*: Semen Portland adalah semen hidrolisis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker, yang terutama terdiri dari silikat – silikat kalsium yang bersifat hidrolisis, dan gips sebagai bahan pembantu [Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A (Bahan Bangunan Bukan Logam), SK-SNI-S-04-1989-F]. Semen Portland merupakan bahan ikat yang penting dan banyak dipakai dalam bangunan fisik. Di dunia sebenarnya terdapat berbagai macam semen, dan tiap macamnya digunakan untuk kondisi – kondisi tertentu sesuai dengan sifat – sifat yang khusus. Bahan – bahan beton dikelompokkan menjadi dua kelompok, yaitu : bahan aktif dan bahan pasif. Kelompok aktif yaitu semen dan air, sedangkan yang pasif yaitu pasir dan kerikil (disebut agregat, yaitu agregat halus dan agregat kasar). Kelompok yang pasif disebut bahan pengisi sedangkan yang aktif disebut perekat (lem). Fungsi semen ialah untuk bereaksi dengan air menjadi pasta semen. Pasta semen berfungsi untuk merekatkan butir – butir agregat agar terjadi suatu massa yang kompak/padat. Selain itu pasta semen juga berfungsi untuk mengisi rongga – rongga di antara butir – butir agregat. Walaupun volume semen hanya kira – kira 10 % saja dari volume beton, namun karena merupakan bahan perekat yang aktif dan mempunyai harga yang cukup mahal dari pada bahan dasar beton yang lain maka perlu diperhatikan/dipelajari secara baik terkait komposisi dan penggunaannya dalam campuran beton [1].

Agregat kasar (*split*) adalah butiran mineral alami yang dipakai bersama – sama dengan suatu media pengikat untuk membentuk semen hidraulik atau adukan. Fungsinya sebagai bahan pengisi dalam campuran beton. Agregat ini menempati kurang lebih 70 persen dari total volume beton. Agregat ini bergradasi sedemikian rupa sehingga seluruh massa beton dapat berfungsi sebagai benda utuh homogen dan rapat. Agregat kasar adalah agregat dengan butiran – butiran tertinggal di atas ayakan dengan lubang 4,8 mm, tetapi lolos ayakan 40 mm. Agregat kasar yang digunakan dalam campuran beton serasat yaitu ukuran maksimum 20 mm. Agregat kasar dapat berupa kerikil sebagai hasil disintegrasi dari batu – batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari pemecahan batu. Agregat halus (pasir) adalah agregat yang semua butirnya menembus ayakan 4,8 mm. Menurut British Standar (BS) yang juga dipakai di Indonesia saat ini, kekasaran pasir dapat dibagi menjadi empat kelompok gradasi (zone) yaitu pasir kasar, pasir agak kasar, pasir agak halus dan pasir halus. Keempat gradasi tersebut disebut Daerah I (kasar), Daerah II (agak kasar), Daerah III (agak halus) dan Daerah IV (halus) [1].

Air merupakan bahan dasar pembuatan beton yang paling penting namun harganya paling murah. Air diperlukan dalam pembuatan campuran beton karena berfungsi untuk bereaksi dengan semen Portland dan menyebabkan terjadinya pengikatan antara pasta semen dengan agregat, sedangkan fungsi lain yaitu sebagai pelumas antara butir – butir agar dapat mudah dikerjakan (diaduk, dituang dan dipadatkan). Untuk bereaksi dengan semen portland, air yang diperlukan hanya sekitar 20 – 30 persen saja dari berat semen, namun dalam kenyataan jika nilai faktor air semen (berat air dibagi berat semen) kurang dari 0,35 adukan beton sulit dikerjakan, sehingga umumnya nilai faktor air-semen lebih dari 0,40 (berarti terdapat kelebihan air yang tidak bereaksi dengan semen). Kelebihan air ini diperlukan untuk sebagai pelumas agar adukan beton dapat dikerjakan. Makin

banyak air untuk pelumas maka adukan beton makin mudah dikerjakan. Akan tetapi perlu dicatat bahwa jumlah air untuk pelumas ini tidak boleh terlalu banyak karena betonnya setelah mengeras akan *porous* sehingga kekuatannya rendah. Air yang memenuhi persyaratan sebagai air minum memenuhi syarat pula untuk bahan campuran beton (tetapi tidak berarti air untuk pencampur beton harus memenuhi standar persyaratan air minum). Dalam hal terdapat kesulitan air di daerah terpencil, misalnya yang tidak terdapat instalasi air minum dan kualitas air yang ada diragukan, maka perlu dilakukan pemeriksaan kualitas [1].

2) *Material Pengganti Agregat Kasar*: Dalam penelitian ini digunakan limbah plastik jenis *high density polyethylene* (HDPE) dan *polypropylene* (PP) hasil pengolahan kembali (*recycle*) sebagai bahan pengganti agregat kasar (*split*). Polietilena berdensitas tinggi/HDPE adalah polietilena termoplastik yang dibuat dari minyak bumi. Polietilena dihasilkan dari proses polimerisasi molekul – molekul gas *ethylene* secara bersama – sama membentuk rangkaian panjang molekul sampai membentuk plastik (*polimer*). *High density polyethylene* (HDPE) dapat didaur ulang dan memiliki nomor 2 pada simbol daur ulang. Polipropilena atau polipropena (PP) adalah sebuah polimer termo-plastik yang dibuat oleh industri kimia dan digunakan dalam berbagai aplikasi diantaranya pengemasan, tekstil (contohnya tali, pakaian dalam termal dan karpet), alat tulis, berbagai tipe wadah terpakai ulang serta bagian plastik, perlengkapan laboratorium, pengeras suara, dan komponen otomotif. Polipropilena (PP) dapat didaur ulang, dan memiliki nomor 5 pada simbol daur ulang. Limbah plastik HDPE dan PP ini tidak langsung digunakan, sebelumnya harus melalui suatu proses pengolahan sehingga siap digunakan untuk campuran beton. Proses pengolahan limbah HDPE dan PP ini diantaranya sebagai berikut, bersihkan terlebih dahulu limbah plastik HDPE dan PP yang diambil dari tempat pembuangan akhir, Campurkan limbah plastik HDPE dan PP yang sudah bersih dengan perbandingan 50% HDPE dan 50% PP, limbah HDPE dan PP yang telah tercampur kemudian dicairkan dengan cara dibakar pada suhu tertentu hingga semua plastik mencair menjadi satu campuran/bubur plastik kemudian dituangkan ke dalam cetakan yang berukuran kotak – kotak menyerupai kubus dengan dimensi $\pm (1,5\text{cm} \times 1,5\text{cm} \times 1,5\text{cm})$ dan ditekan (*press*) ± 20 menit. Setelah dingin keluarkan kubus plastik dari cetakan kubus plastik tersebut dipakai sebagai pengganti agregat kasar (*split*). Limbah plastik HDPE dan PP hasil pengolahan kembali (*recycle*) yang digunakan dalam penelitian ini berbentuk kubus dengan dimensi $\pm (1,5\text{cm} \times 1,5\text{cm} \times 1,5\text{cm})$. Diharapkan dengan dimensi tersebut dalam proses pencampuran dapat bersifat homogen dan dapat mengurangi berat jenis beton dengan tetap mempertahankan kuat tarik dan kuat tekan terhadap beton normal.

3) *Mix Design*: Dalam metode *mix design* pada penelitian ini, SNI 03 – 2847 – 2002 mengenai Tata Cara Perhitungan Beton untuk Bangunan Gedung digunakan untuk penentuan nilai deviasi standar (*s*), perhitungan nilai tambah (*m*), penetapan kuat tekan rata – rata yang direncanakan (*f'cr*) dan menentukan Faktor Air Semen (FAS). Sedangkan untuk langkah – langkah perancangan campuran sama dengan yang terdapat pada SNI 03 – 2834 – 2000 mengenai Tata

Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal [2].

4) *Kuat Tarik Beton (f'_{ct})*: Konstruksi beton yang dipasang mendatar sering menerima beban tegak lurus sumbu bahannya dan sering mengalami rekahan (*splitting*). Hal ini terjadi karena daya dukung beton terhadap gaya lentur tergantung pada jarak dari garis berat beton, makin jauh dari garis berat makin kecil daya dukungnya. Kekuatan tarik beton diwakili oleh tegangan tarik maksimum (f'_{ct}) dengan satuan (N/mm^2). Kekuatan tarik relatif rendah, untuk beton normal berkisar antara 9% – 15% dari kuat tekan. Pengujian kuat tarik beton dilakukan melalui pengujian split silinder. Pengujian tersebut menggunakan benda uji silinder beton berdiameter 150 mm dan panjang 300 mm, diletakkan pada arah memanjang di atas alat penguji kemudian beban tekan diberikan merata arah tegak dari atas pada seluruh panjang silinder. Apabila kuat tarik terlampaui, benda uji terbelah menjadi dua bagian dari ujung ke ujung. Tegangan tarik yang timbul sewaktu benda uji terbelah disebut sebagai *split cylinder strength* [2].

5) *Kuat Tekan Beton (f'_c)*: Kekuatan tekan adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan per satuan luas. Kuat tekan beton mengidentifikasi mutu dari sebuah struktur. Semakin tinggi tingkat kekuatan struktur yang dikehendaki, semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan. Kekuatan tekan beton diwakili oleh tegangan tekan maksimum (f'_c) dengan satuan (N/mm^2). Kekuatan tekan beton merupakan sifat yang paling penting dari beton keras. Umumnya kuat tekan beton berkisar antara nilai 10 – 65 Mpa. Untuk struktur beton dengan kuat tekan pada umur 28 hari berkisar antara 17 – 35 Mpa, untuk beton prategang digunakan beton dengan kuat tekan lebih tinggi, berkisar antara 30 – 40 Mpa [2].

III. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental laboratorium yaitu suatu penelitian yang berusaha untuk mencari pengaruh variabel tertentu terhadap variabel yang lain dalam kondisi terkontrol secara ketat dan dilakukan di laboratorium dengan urutan kegiatan yang sistematis dalam memperoleh data yang berguna sebagai dasar pembuatan keputusan dan kesimpulan, metode ini dapat dilakukan di dalam ataupun di luar laboratorium. Dalam penelitian ini dilakukan suatu pengujian beberapa sampel terhadap kuat tarik dan kuat tekan beton dengan menggantikan sebagian agregat kasar (*split*) dengan variasi 2%, 4%, 6%, dan 8% dari volume total agregat kasar pada adukan beton. Agregat kasar pengganti yang dipakai adalah berbentuk kubus dengan ukuran $\pm (1,5\text{cm} \times 1,5\text{cm} \times 1,5\text{cm})$.

Di dalam penelitian ini akan dilakukan pengujian terhadap kuat tekan dan kuat lentur beton, sehingga benda uji yang digunakan yaitu berupa silinder untuk pengujian kuat tarik dan kuat tekan. Ukuran penampang dan jumlah benda uji silinder dalam penelitian disajikan dalam tabel I dan II di bawah ini.

TABEL I
JUMLAH DAN UKURAN PENAMPANG SILINDER UNTUK PENGUJIAN KUAT TARIK BETON UMUR 28 HARI

Tinggi Silinder (mm)	Diameter Silinder (mm)	Kode Benda Uji	Pengganti Agregat Kasar (%)	Jumlah Benda Uji
300	150	S _{NTR}	-	3
		S _{TR2}	2	3
		S _{TR4}	4	3
		S _{TR6}	6	3
		S _{TR8}	8	3
Jumlah				15

TABEL II
JUMLAH DAN UKURAN PENAMPANG SILINDER UNTUK PENGUJIAN KUAT TEKAN BETON UMUR 28 HARI

Tinggi Silinder (mm)	Diameter Silinder (mm)	Kode Benda Uji	Pengganti Agregat Kasar (%)	Jumlah Benda Uji
300	150	S _{NTK}	-	3
		S _{TK2}	2	3
		S _{TK4}	4	3
		S _{TK6}	6	3
		S _{TK8}	8	3
Jumlah				15

Untuk setiap pengujian pada umur tertentu digunakan masing-masing – masing 3 buah benda uji. Pengujian kuat tarik dan kuat tekan beton dilakukan pada umur 28 hari.

Penelitian ini dibagi dalam beberapa tahapan dengan sistematis dan urutan yang jelas, sehingga dapat diperoleh hasil yang semaksimal mungkin serta dapat dipertanggungjawabkan. Adapun tahapan penelitian adalah sebagai berikut:

1) *Tahap I (Persiapan)*: Pada tahap ini dilakukan survei bahan material dan studi literatur. Seluruh bahan dan peralatan yang akan dibutuhkan dalam penelitian dipersiapkan terlebih dahulu agar penelitian dapat berjalan dengan lancar.

2) *Tahap II (Pengujian Bahan Material dan Pembuatan Agregat Kasar Plastik)*: Pada tahap ini dilakukan proses pengujian bahan material yang akan digunakan untuk campuran benda uji yang meliputi pengujian berat jenis agregat kasar dan agregat halus serta mengetahui sifat dan karakteristik bahan tersebut, selain itu juga untuk mengetahui apakah bahan tersebut dapat digunakan atau tidak. Hasil pengujian bahan ini nanti akan digunakan sebagai rancangan perhitungan *mix design*.

- Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat halus.
- Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat kasar.
- Pemeriksaan kadar air agregat halus.
- Pemeriksaan gradasi agregat halus.
- Pemeriksaan gradasi agregat kasar.
- Pemeriksaan kadar lumpur pasir.

3) *Tahap III (Pembuatan Benda Uji)*: Pada tahapan ini akan dilakukan pekerjaan sebagai berikut, penetapan proporsi

campuran beton normal, pembuatan campuran beton normal, pemeriksaan nilai *slump* dan pembuatan benda uji. Adapun langkah – langkah yang dilakukan dalam pembuatan dan perawatan benda uji adalah sebagai berikut:

- Menyiapkan cetakan benda uji beton (silinder) yang telah diberi minyak pelumas.
- Menyiapkan alat pengaduk yaitu berupa sekop dan sendok (karena pencampurannya dilakukan secara manual).
- Menimbang berat air, semen, agregat dan potongan plastik sesuai dengan rencana campuran.
- Agregat halus (pasir) dan semen dimasukkan kedalam talam, kemudian campur semen dan pasir hingga tercampur terlebih dahulu. Setelah tercampur merata masukan agregat kasar (kerikil) ke dalam campuran yang ada di talam tersebut, apabila sudah terlihat tercampur dengan baik kemudian ditambahkan air sedikit demi sedikit hingga adukan tercampur merata.
- Campur sampai adukan beton terlihat homogen.
- Setelah adukan beton benar – benar tercampur merata, sambil mencampur taburkan agregat kasar pengganti (*split*) sedikit demi sedikit kedalam adukan beton agar tersebar secara acak dan merata diseluruh adukan beton segar tersebut. Pencampuran dilakukan sampai adukan homogen/merata.
- Setelah pengadukan selesai, dilakukan pengujian *slump*. Pada saat dilakukan pengujian *slump* perlu diperhatikan agar tetap dilakukan untuk menghindari terjadinya pengerasan.
- Setelah *slump* yang didapat sesuai dengan rencana, adukan beton kemudian dimasukkan kedalam cetakan. Pengisian adukan kedalam cetakan silinder dilakukan tiga tahap, masing-masing 1/3 dari tinggi cetakan. Setiap tahap dipadatkan dengan tongkat baja (dengan ukuran diameter 16 mm dan pajang 60 cm yang ujungnya dibulatkan) sebanyak 25 kali tumbukan.
- Bagian atas diratakan sampai rata dengan permukaan cetakan.
- Benda uji didalam cetakan benda uji didiamkan selama 24 jam. Setelah itu cetakan dibuka kemudian dilakukan perawatan dengan cara merendam benda uji sesuai dengan umur pengujian.

4) *Tahap IV (Perawatan Beton/Curing)*: Pada tahap ini benda uji yang sudah jadi selanjutnya akan dilakukan perawatan (*curing*). Perawatan dilakukan dengan cara merendam benda uji di dalam bak yang berisi air dan kemudian diangkat dan dikeringkan selama dua hari sebelum pengujian benda uji.

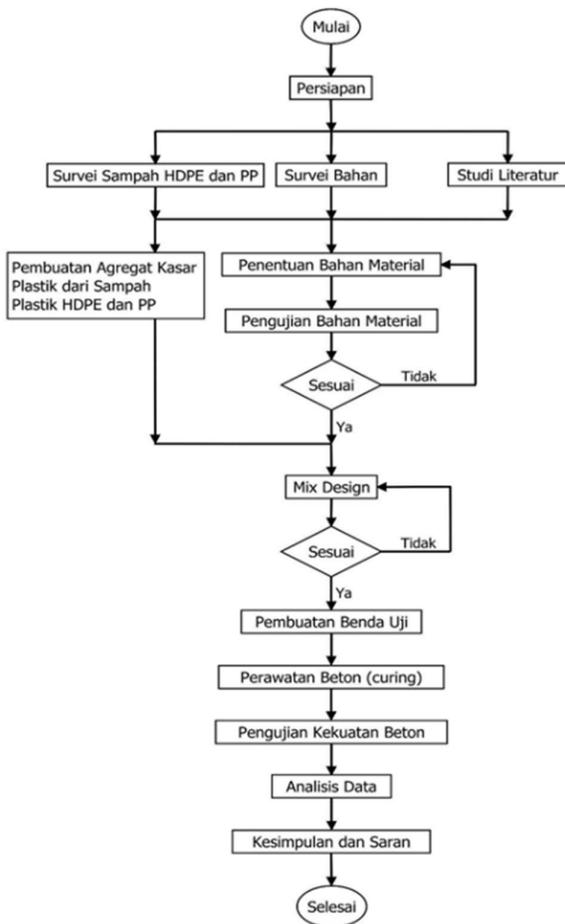
5) *Tahap V (Pengujian Kekuatan Beton)*: Pada tahap ini benda uji yang berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm yang sudah jadi akan dilakukan proses pengujian kuat tarik dan kuat tekan pada umur 28 hari. Langkah – langkah pengujian adalah sebagai berikut:

- Dua hari sebelum pengujian, benda uji dikeluarkan dari bak perendaman.
- Benda uji diangin – anginkan guna mengeringkan permukaan benda uji.

- Timbang dan catat berat serta ukur diameter dan tinggi benda uji, kemudian diamati apakah terdapat cacat pada benda uji sebagai bahan laporan.
- Sebelum diuji, terlebih dahulu dilakukan proses *capping* yaitu melapisi permukaan atas silinder beton dengan belerang (dengan cara beton diletakkan di atas belerang cair yang dipanaskan) sehingga permukaan benda uji rata. Diamkan kurang lebih 2 – 3 jam sampai belerang kering dan padat.
- Untuk pengujian kuat tekan beton letakkan benda uji pada mesin uji kuat tekan dengan posisi benda uji berdiri. Pengujian dilakukan dengan beban pada kecepatan yang konstan dan beban bertambah secara kontinyu.
- Untuk pengujian kuat tarik belah beton letakkan benda uji pada mesin uji kuat tekan dengan posisi benda uji direbahkan sehingga terjadi tegangan tarik pada benda uji. Pengujian dilakukan dengan beban pada kecepatan yang konstan dan beban bertambah secara kontinyu.
- Untuk pengambilan data, dengan cara mencatat besar tekanan terbesar yang dapat dibaca dari alat *compressometer*.

6) *Tahap VI (Analisis Data)*: Setelah dilakukan tahap pengujian maka langkah selanjutnya adalah proses analisis data yang diperoleh dari hasil pengujian kemudian dianalisis untuk mendapatkan hubungan variabel – variabel yang diteliti dalam penelitian.

7) *Tahap VII (Kesimpulan dan Saran)*: Setelah proses olah data selesai maka tahap selanjutnya yaitu membuat kesimpulan dan saran berdasarkan data yang telah dianalisis sesuai dengan tujuan penelitian.



Gambar. 1. Bagan Alir (flowchart) Penelitian

IV. HASIL DAN ANALISIS

A. Komposisi Campuran Beton untuk 1 Benda Uji

Didapat perbandingan dari masing – masing komposisi bahan antara lain, semen (2): pasir (1,8) : *split* (2,6). Adapun kebutuhan bahan yang diperlukan setelah penggantian agregat kasar (*split*) oleh agregat kasar plastik (HDPE dan PP) per silinder dapat dilihat pada Tabel III.

TABEL III
KEBUTUHAN BAHAN BETON SETELAH PENGGANTIAN SEBAGIAN AGREGAT KASAR (*SPLIT*) OLEH AGREGAT KASAR PLASTIK

Variasi (%)	Komposisi Bahan Beton per Silinder				
	Air (liter)	Semen (gram)	Pasir (gram)	<i>Split</i> (gram)	Agregat Kasar Plastik (gram)
0	1,2	2440,7	4262,6	6392,9	-
2	1,2	2440,7	4262,6	6392,9	127,9
4	1,2	2440,7	4262,6	6392,9	255,8
6	1,2	2440,7	4262,6	6392,9	383,6
8	1,2	2440,7	4262,6	6392,9	511,5

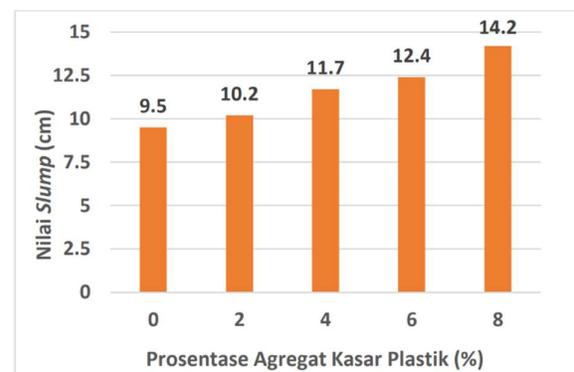
B. Pengujian Slump

Dari masing – masing campuran adukan beton tersebut dilakukan pengujian *slump*. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel IV sebagai berikut:

TABEL IV
HASIL PENGUJIAN *SLUMP*

Persentase Agregat Kasar Plastik (%)	Nilai <i>Slump</i> (cm)
0	9,5
2	10,2
4	11,7
6	12,4
8	14,2

Berdasarkan data pada Tabel IV dapat digambar grafik hubungan antara persentase agregat kasar plastik dengan nilai *slump* yaitu seperti pada Gambar 2 sebagai berikut:



Gambar. 2. Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Seperti terlihat pada Gambar 2 nilai *slump* pada adukan beton terus mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya persentase agregat kasar pengganti (plastik). Peningkatan nilai *slump* disebabkan oleh adanya peningkatan persentase agregat kasar pengganti (plastik) dalam campuran beton. Hal ini diakibatkan oleh permukaan plastik yang agak licin yang akan mengurangi daya lekat atau sifat saling mengunci antara bahan, permukaan yang licin menimbulkan gesekan yang kecil antara plastik dengan agregat kasar (*split*) sehingga terjadi kemungkinan untuk saling terlepas satu sama lain. Penggantian sebagian agregat kasar (*split*) juga akan menyebabkan luas permukaan bahan yang dilumasi air menjadi berkurang, sehingga kandungan air bebas yang berpengaruh pada kelecakan adukan beton menjadi bertambah. Nilai *slump* hasil penelitian berkisar antara 9,50 – 14,20 cm. Nilai ini sudah sesuai dengan penetapan dalam perencanaan campuran (*mix design*) beton. Peningkatan nilai *slump* diakibatkan oleh adanya peningkatan persentase penggantian agregat kasar (*split*) oleh agregat kasar pengganti (plastik) pada campuran beton.

C. Hasil Pengujian dan Analisis Kuat Tarik Beton

Hasil pengujian kuat tarik belah beton dengan penggantian sebagian agregat kasar (*split*) oleh agregat kasar plastik dapat dilihat pada tabel V.

TABEL V
HASIL PENGUJIAN KUAT TARIK BELAH BETON DENGAN PENGGANTIAN
SEBAGIAN AGREGAT KASAR (*SPLIT*) OLEH AGREGAT KASAR PLASTIK

Plastik (%)	Kode	D (mm)	T (mm)	W (kg)	L (mm ²)	P (kN)
0	NTR _A	150	300,75	12,55	141.782,143	163
	NTR _B	150	300,45	12,53	141.617,143	165
	NTR _C	150	300,25	12,52	141.546,429	158
2	TR2 _A	150	302,30	12,27	142.512,857	170
	TR2 _B	150	299,40	12,29	141.145,714	160
	TR2 _C	150	300,70	12,44	141.758,571	145
4	TR4 _A	150	302,10	12,20	142.418,571	150
	TR4 _B	150	301,40	12,18	142.088,571	140
	TR4 _C	150	301,30	12,27	142.041,429	157
6	TR6 _A	150	301,00	12,13	141.900,000	140
	TR6 _B	150	300,65	12,10	141.735,000	130
	TR6 _C	150	301,90	11,95	142.324,286	150
8	TR8 _A	150	302,95	11,95	142.819,286	132
	TR8 _B	150	302,20	11,91	142.465,714	152
	TR8 _C	150	299,90	11,81	141.381,429	142



Gambar. 3. Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Perhitungan kuat tarik belah beton dengan mengambil salah satu sampel benda uji (NTR_B) sebagai contoh perhitungan. Diketahui data – data sebagai berikut:

$$D = 150 \text{ mm}$$

$$T = 300,75 \text{ mm}$$

$$P = \frac{2P}{\pi \cdot D \cdot T} \tag{1}$$

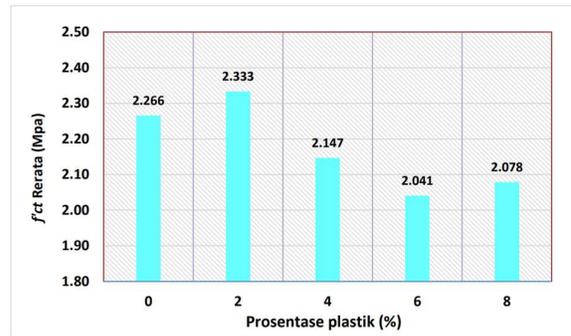
$$P = \frac{2 \times 166000}{\pi \times 141617,143} = 2,299 \text{ N/mm}^2$$

Jadi kuat tarik belah beton dengan kode silinder NTR_B adalah 2,299 Mpa. Hasil dari perhitungan kuat tarik beton untuk persentase penggantian sebagian agregat kasar oleh agregat kasar plastik pada masing – masing benda uji dapat dilihat pada tabel VI.

TABEL VI
HASIL PERHITUNGAN KUAT TARIK BELAH BETON DENGAN PENGGANTIAN
SEBAGIAN AGREGAT KASAR (*SPLIT*) OLEH AGREGAT KASAR PLASTIK

Plastik (%)	Kode	D (mm)	T (mm)	P (kN)	<i>f</i> _{ct} (MPa)	<i>f</i> _{ct} Rerata (MPa)
0	NTR _A	150	300,75	163	2,299	2,266
	NTR _B	150	300,45	165	1,624	
	NTR _C	150	300,25	158	2,232	
2	TR2 _A	150	302,30	170	2,400	2,333
	TR2 _B	150	299,40	160	2,267	
	TR2 _C	150	300,70	145	1,467	
4	TR4 _A	150	302,10	150	1,292	2,147
	TR4 _B	150	301,40	140	2,435	
	TR4 _C	150	301,30	157	1,859	
6	TR6 _A	150	301,00	140	1,973	2,041
	TR6 _B	150	300,65	130	1,834	
	TR6 _C	150	301,90	150	2,108	
8	TR8 _A	150	302,95	132	1,848	2,078
	TR8 _B	150	302,20	152	2,134	
	TR8 _C	150	299,90	142	2,023	

Berdasarkan data pada tabel VI dapat digambarkan hubungan antara persentase penggantian sebagian agregat kasar (*split*) oleh agregat kasar plastik dengan kuat tarik rata – rata beton yaitu seperti pada gambar 4 sebagai berikut:



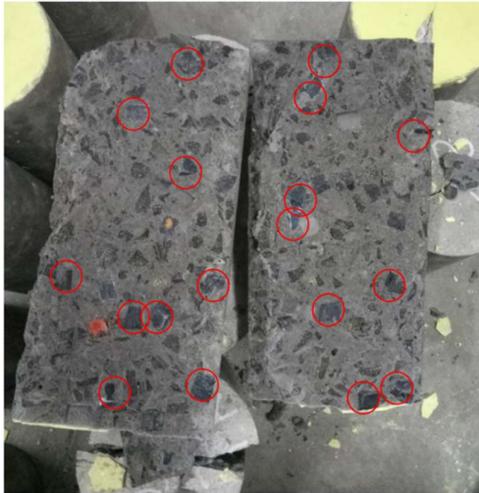
Gambar. 4. Grafik Hubungan Kuat Tarik Rerata dengan Penggantian Sebagian Agregat Kasar (*Split*) oleh Agregat Kasar Plastik

Dari Gambar 4 di atas dapat diketahui penggantian agregat kasar (*split*) oleh agregat kasar plastik dapat memberikan kontribusi positif terhadap beton yaitu pada pemakaian 2% yang dapat memberikan peningkatan nilai kuat tarik belah beton tersebut. Nilai kuat tarik belah beton serta persentase peningkatan atau penurunan terhadap beton normal pada berbagai variasi penggantian agregat kasar (*split*) oleh agregat kasar pengganti (plastik) dapat dilihat pada tabel VII berikut:

TABEL VII
ANALISIS HASIL KUAT TARIK BELAH RATA-RATA DAN PERSENTASE
PENINGKATAN ATAU PENURUNAN TERHADAP BETON NORMAL

Persentase Plastik (%)	Kuat Tarik Belah Rata-Rata (MPa)	Peningkatan /Penurunan (+/-%)	Keterangan
0	2,226	-	-
2	2,333	+2,96	Meningkat
4	2,147	-5,25	Menurun
6	2,041	-9,93	Menurun
8	2,078	-8,30	Menurun

Berdasarkan Tabel VII peningkatan nilai kuat tarik belah terjadi pada beton dengan persentase penggantian agregat kasar plastik 2% dari beton normal. Kenaikan kuat tarik belah beton pada persentase campuran 2% sebesar 2,333 Mpa atau meningkat sebesar 2,96% dari beton normal yang bernilai 2,266 Mpa, sedangkan kuat tarik belah beton pada persentase campuran 4% – 8% cenderung mengalami penurunan. Artinya, semakin meningkat persentase penggantian agregat kasar (*split*) oleh agregat kasar plastik terhadap campuran beton normal tidak mengalami penambahan kuat tarik belah beton. Penurunan nilai kuat tarik belah beton ini disebabkan oleh penyebaran agregat kasar pengganti (plastik) yang tidak merata di dalam campuran beton. Pola penyebaran agregat kasar pengganti (plastik) sangat berpengaruh terhadap kinerja material yang menahan beban akibat gaya tarik yang terjadi pada saat pembebanan beton. Selain itu sifat material pengganti yang memiliki permukaan licin dan ukurannya yang seragam juga sangat berpengaruh terhadap keompakan atau daya ikat antara material penyusun beton.



Gambar. 5. Kondisi Beton Setelah Dilakukan Pengujian Kuat Tarik Belah

D. Hasil Pengujian dan Analisis Kuat Tekan Beton

Hasil pengujian kuat tekan beton dengan penggantian sebagian agregat kasar (*split*) oleh agregat kasar plastik dapat dilihat pada tabel VIII.

TABEL VIII
HASIL PENGUJIAN KUAT TEKAN BETON DENGAN PENGGANTIAN SEBAGIAN AGREGAT KASAR (*SPLIT*) OLEH AGREGAT KASAR PLASTIK

Plastik (%)	Kode	D (mm)	T (mm)	W (kg)	L (mm ²)	P (kN)
0	NTK _A	150	300,70	12,55	17.678,571	545
	NTK _B	150	303,10	12,64	17.678,571	556
	NTK _C	150	303,70	12,81	17.678,571	538
2	TK2 _A	150	298,30	12,28	17.678,571	450
	TK2 _B	150	299,30	12,42	17.678,571	430
	TK2 _C	150	300,90	12,23	17.678,571	390
4	TK4 _A	150	300,25	12,19	17.678,571	395
	TK4 _B	150	303,30	12,44	17.678,571	308
	TK4 _C	150	301,85	12,10	17.678,571	380
6	TK6 _A	150	300,90	12,00	17.678,571	327
	TK6 _B	150	300,50	12,90	17.678,571	345
	TK6 _C	150	301,30	11,31	17.678,571	375
8	TK8 _A	150	302,30	11,81	17.678,571	222
	TK8 _B	150	301,75	11,76	17.678,571	320
	TK8 _C	150	302,00	11,97	17.678,571	343



Gambar. 6. Pengujian Kuat Tekan Beton

Perhitungan kuat tekan beton dengan mengambil salah satu sampel benda uji (NTK_A) sebagai contoh perhitungan. Diketahui data – data sebagai berikut:

$$D = 150 \text{ mm}$$

$$T = 300,75 \text{ mm}$$

$$A = 17.678,571 \text{ mm}^2$$

$$P = \frac{P}{A} \tag{2}$$

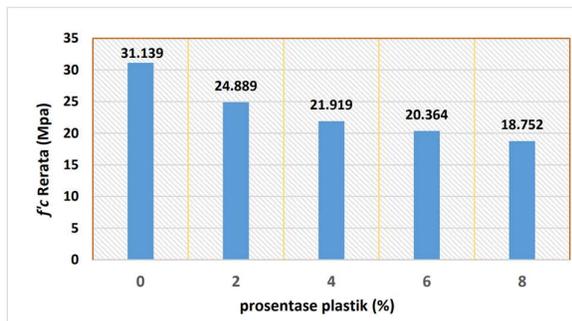
$$P = \frac{545000}{17.678,571} = 31,451 \text{ N/mm}^2$$

Jadi kuat tekan beton dengan kode silinder NTK_A adalah 2,299 Mpa. Hasil dari perhitungan kuat tekan beton untuk persentase penggantian sebagian agregat kasar oleh agregat kasar plastik pada masing – masing benda uji dapat dilihat pada tabel IX.

TABEL IX
HASIL PERHITUNGAN KUAT TEKAN BETON DENGAN PENGGANTIAN SEBAGIAN AGREGAT KASAR (*SPLIT*) OLEH AGREGAT KASAR PLASTIK

Plastik (%)	Kode	D (mm)	T (mm)	P (kN)	f _c (MPa)	f _c Rerata (MPa)
0	NTK _A	150	300,70	545	30,828	31,139
	NTK _B	150	303,10	556	31,451	
	NTK _C	150	303,70	538	30,432	
2	TK2 _A	150	298,30	450	25,455	24,889
	TK2 _B	150	299,30	430	24,323	
	TK2 _C	150	300,90	390	22,061	
4	TK4 _A	150	300,25	395	22,343	21,919
	TK4 _B	150	303,30	308	17,422	
	TK4 _C	150	301,85	380	21,495	
6	TK6 _A	150	300,90	327	18,497	20,364
	TK6 _B	150	300,50	345	19,515	
	TK6 _C	150	301,30	375	21,212	
8	TK8 _A	150	302,30	222	12,558	18,752
	TK8 _B	150	301,75	320	18,101	
	TK8 _C	150	302,00	343	19,402	

Berdasarkan data pada tabel IX dapat digambar grafik hubungan antara persentase penggantian sebagian agregat kasar (*split*) oleh agregat kasar plastik dengan kuat tekan rata – rata beton yaitu seperti pada Gambar 7 sebagai berikut:



Gambar. 7. Grafik Hubungan Kuat Tekan Rerata dengan Penggantian Sebagian Agregat Kasar (*Split*) oleh Agregat Kasar Plastik

Kekuatan tekan adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan persatuan luas (SNI 03 – 1974 – 1990). Kuat tekan beton mengidentifikasi mutu dari sebuah struktur beton. Semakin tinggi kekuatan struktur yang dikehendaki, semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan (Mulyono, T, 2004) [4]. Kekuatan tekan beton diwakili oleh tegangan maksimum $f'c$ dengan satuan Mpa. Kekuatan tekan beton merupakan sifat yang paling penting dari beton keras.

TABEL X

ANALISIS HASIL KUAT TEKAN BETON DAN PERSENTASE PENINGKATAN ATAU PENURUNAN TERHADAP BETON NORMAL

Persentase Plastik (%)	Kuat Tarik Belah Rata-Rata (MPa)	Peningkatan /Penurunan (+/--%)	Keterangan
0	31,139	-	-
2	24,889	-20,07	Menurun
4	21,919	-29,61	Menurun
6	20,364	-34,60	Menurun
8	18,752	-39,78	Menurun

Berdasarkan Tabel X dapat diketahui bahwa terjadi penurunan nilai kuat tekan pada beton dengan penurunan terendah terjadi pada beton dengan persentase penggantian agregat kasar plastik 8% yaitu 18,752 Mpa atau menurun sebesar 39,78% dari beton normal yang bernilai 31,139 Mpa. Artinya, semakin meningkat persentase penggantian agregat kasar (*split*) oleh agregat kasar plastik terhadap campuran beton normal tidak mengalami penambahan kuat tekan beton. Nilai kuat tekan beton menurun seiring dengan penambahan persentase agregat kasar plastik pada campuran beton sebagai pengganti agregat kasar (*split*). Hal ini disebabkan karena permukaan dari agregat kasar plastik yang licin dan berbentuk seragam (kubus 1,5 cm) seperti pada Gambar 8, sehingga ikatan antara material penyusun beton kurang kuat dibandingkan dengan beton normal. Menurut (Nugraha, P dan Antoni, 2007) terdapat empat faktor yang dapat menyebabkan terjadinya penurunan kekuatan beton yaitu material, cara pembuatan, cara perawatan dan kondisi pada saat pengujian [5]. Semen dan air merupakan dua unsur yang sangat berpengaruh terhadap kekuatan beton. Semen yang terlalu sedikit atau jumlah air yang terlalu banyak dari rencana campuran yang sudah ditentukan, dapat meningkatkan nilai Faktor Air Semen (FAS) dari campuran tersebut. Kekuatan beton akan turun jika air yang ditambahkan ke dalam campuran semakin banyak (Mulyono, T, 2004) [4].



Gambar. 8. Kondisi Beton Setelah Dilakukan Pengujian Kuat Tekan

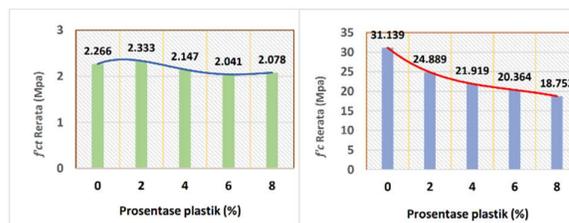
E. Trendline Kuat Tarik Belah dan Kuat Tekan beton

Dari hasil pengujian dapat diketahui nilai kuat tarik belah sebanding dengan nilai kuat tekan beton yaitu semakin meningkat persentase penggantian agregat kasar (*split*) oleh agregat kasar plastik terjadi penurunan kuat tekan dan kuat tarik belah beton. Hal ini disebabkan karena agregat kasar plastik yang berperan sebagai pengganti agregat kasar (*split*) belum bekerja secara maksimal di dalam campuran beton. Berikut hubungan *trendline* antara kuat tarik belah dengan kuat tekan beton:

TABEL XI

NILAI KUAT TARIK BELAH DAN KUAT TEKAN RATA-RATA BETON

Persentase Plastik (%)	Kuat Tarik Belah Rata-Rata (MPa)	Kuat Tekan Rata-Rata (MPa)
0	2,226	31,139
2	2,333	24,889
4	2,147	21,919
6	2,041	20,364
8	2,078	18,752



Gambar. 9. Trendline Kuat Tarik Belah dan Kuat Tekan Beton

Terlihat pada Gambar 9 nilai kuat tekan mengalami penurunan seiring dengan peningkatan persentase penggantian agregat kasar (*split*) oleh agregat kasar plastik. Nilai kuat tarik mengalami peningkatan pada persentase 2% yaitu sebesar 2,333 Mpa atau meningkat sebesar 2,96% dari beton normal sedangkan pada persentase 4% - 8% cenderung mengalami penurunan.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Setelah melakukan analisis data hasil pengujian, maka hasil penelitian mengenai *Optimalisasi Pemakaian HDPE dan PP Sebagai Pengganti Sebagian Agregat Kasar Terhadap Kuat Tarik dan Kuat Tekan Beton*, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

- Nilai *slump* adukan beton terus mengalami peningkatan seiring dengan peningkatan persentase penggantian agregat kasar (*split*) dengan agregat kasar plastik yaitu berkisar antara 9,50 – 14,2 cm akibatnya kadar air dalam campuran beton meningkat sehingga berpengaruh terhadap mutu beton yang dihasilkan semakin menurun.
- Hasil pengujian kuat tekan beton menunjukkan bahwa semakin meningkat persentase penggantian agregat kasar (*split*) oleh agregat kasar plastik terhadap campuran beton normal kuat tekan beton mengalami penurunan sebesar 8% atau sebesar 18,752 Mpa.
- Hasil pengujian kuat tarik belah beton menunjukkan terjadi peningkatan kuat tarik pada persentase 2%, kemudian cenderung menurun pada persentase 4% - 8% dengan kuat tarik terbesar terjadi pada persentase 2% yaitu sebesar 2,333 Mpa dan kuat tarik terkecil terjadi pada persentase 8% yaitu sebesar 2,078 Mpa.

Dari hasil penelitian mengenai *Optimalisasi Pemakaian HDPE dan PP Sebagai Pengganti Sebagian Agregat Kasar Terhadap Kuat Tarik dan Kuat Tekan Beton*, dapat dikemukakan saran – saran untuk penelitian lebih lanjut, yaitu:

- Perlu dilakukan analisis material yaitu seperti uji kekerasan, kekasaran, pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat kasar pengganti hasil pengolahan kembali limbah plastik HDPE dan PP.
- Perlu dilakukan penelitian menggunakan bahan tambah mineral (*additive*) dalam campuran beton dengan agregat kasar pengganti hasil pengolahan kembali limbah plastik HDPE dan PP yang berfungsi untuk mengikat material – material penyusun beton.
- Perlu dilakukan penelitian menggunakan ukuran agregat kasar pengganti (plastik) yang berbentuk tidak seragam.
- Perlu ditemukannya suatu mesin atau tempat khusus untuk pengolahan kembali limbah plastik HDPE dan PP menjadi pengganti agregat kasar, dan dilakukan riset mengenai proses atau tahapan – tahapan pengolahan kembali limbah plastik HDPE dan PP menjadi pengganti agregat kasar sehingga agregat kasar plastik yang dihasilkan dapat memenuhi syarat untuk digunakan sebagai pengganti agregat kasar (*split*) dan dapat digunakan oleh masyarakat pada umumnya.
- Perlu dilakukan penelitian sejenis menggunakan beberapa variasi dengan perbandingan HDPE dan PP tertentu. Seperti 70% HDPE dan 30% PP untuk mengetahui pengaruh HDPE terhadap PP dalam campuran beton atau sebaliknya.
- Pengadukan campuran beton dilakukan bersamaan untuk beberapa benda uji sesuai dengan jumlah variasinya, tidak boleh dilakukan secara terpisah atau per benda uji.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] BSN. (2000). *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal (SNI 03 – 2834 – 2000)*. Badan Standarisasi Nasional Indonesia.
- [2] BSN. (2002). *Tata Cara Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (SNI 03 – 2847 – 2002)*, Badan Standarisasi Nasional Indonesia.
- [3] Metekohy. K. “Pemanfaatan Limbah Plastik Sebagai Bahan Bangunan Beton Ringan, Konsentrasi Teknologi Pengolaan dan Pemanfaatan Sampah /Limbah Perkotaan,” tesis magister, Sekolah Pasca Sarjana Universitas Gajah Mada, Yogyakarta, Indonesia, 2008.
- [4] Mulyono, T. (2004). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- [5] Nugraha, P dan Antoni (2007). *Teknologi Beton – Dari Material, Pembuatan, ke Beton Kinerja Tinggi*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- [6] Tjokrodinuljo, K. (2007). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Penerbit Biro Penerbit KMTS FT UGM.
- [7] CNN Indonesia. (Februari, 2022). Sampah Plastik 2021 Naik ke 11,6 Juta Ton, KLHK Sindir Belanja Online. [Online]. Tersedia: <https://www.cnnindonesia.com/nasional/20220225173203-20-764215/sampah-plastik-2021-naik-ke-116-juta-ton-klhk-sindir-belanja-online>