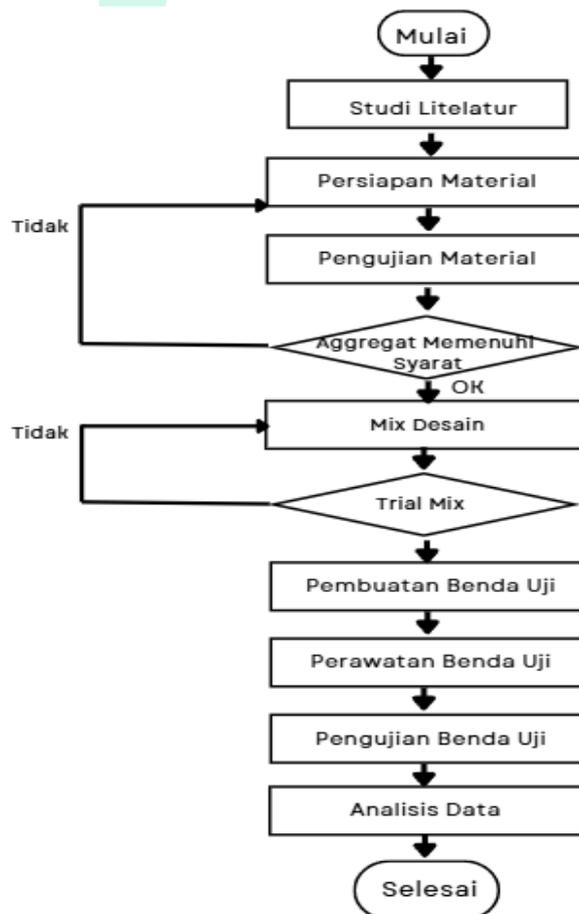


BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Universitas Pembangunan Jaya menggunakan metodologi penelitian eksperimental. Beton normal digunakan sebagai benda uji acuan untuk penelitian ini. Persentase granit, marmer, dan keramik dalam campuran agregat kasar bervariasi, yaitu 0%, 25%, 75%, dan 100%. Mutu beton yang digunakan pada perencanaan awal adalah 50 MPa. Untuk uji tekan, benda uji berbentuk silinder dengan diameter 100 mm dan tinggi 200 mm, sesuai SNI 03-2493-1991. Total terdapat 90 benda uji, dan masing-masing benda uji direndam selama tujuh, empat belas, dan dua puluh delapan hari.



Gambar 3. 1 Tahap Awal Limbah Keramik, Marmer, dan Geranit

3.2. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Universitas Pembangunan Jaya. Jl. Cendrawasih Raya Blok B7/P Bintaro Jaya, Sawah Baru, Ciputat, Tangerang Selatan.

3.3. Alur Penelitian

Berikut adalah alur penelitian

1. Pemilihan material
2. Pengujian material
3. Perhitungan mix desain
4. Pembuatan benda uji
5. Pengujian benda uji

3.4. Kebutuhan Benda Uji

Dalam penelitian ini benda uji yang dibutuhkan adalah :

Tabel 3. 1 Variabel Benda Uji

Umur	alami	keramik			granit			marmer		
		persentase			persentase			persentase		
	0	25%	75%	100%	25%	75%	100%	25%	75%	100%
7	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
14	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
28	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Jumlah		90								

3.5. Pemilihan dan Pengujian Material

Pada tahap awal setelah mendapatkan limbah keramik, marmer dan granit tahap selanjutnya adalah menghancurkan limbah sampai berukuran 12 – 15 mm sesuai dengan mix desain dan ukuran kebutuhan agregat kasar sebagai pengganti agregat kasar alami. Pada gambar 3.2 menunjukkan proses penyiapan limbah keramik, marmer, dan granit sebelum menjadi pengganti agregat kasar alami



Gambar 3. 2 Proses Penyiapan Material Pengganti Agregat Kasar Alami

3.5.1. Agregat Halus

Berikut adalah tabel tentang pemilihan dan pengujian material beton untuk agregat halus sesuai dengan SNI 03-2847-2019 dan standar terkait:

Tabel 3. 2 Pengujian Agregat Halus

Parameter yang Diuji	Metode Uji (SNI)	Kriteria/Spesifikasi	Peralatan yang Digunakan
Gradasi (Distribusi Butiran)	SNI 1971	Mengacu pada zona gradasi standar agregat halus (Zona 1, 2, 3, 4).	Serangkaian ayakan standar (#4, #8, #16, #30, #50, #100), timbangan
Kadar Lumpur	SNI 1975	Maksimum 5% untuk beton struktural.	Wadah pengaduk, timbangan digital, air
Berat Jenis dan Penyerapan Air	SNI 1973	Berat jenis (bulk density): $\geq 2,5$; Penyerapan air: Maksimum 2%.	Piknometer, timbangan digital, oven
Kandungan Zat Organik	SNI 2827	Warna larutan tidak lebih gelap dari larutan standar (warna pembanding).	Tabung uji, larutan natrium hidroksida (NaOH) 3%, timbangan digital
Kandungan Garam (Klorida)	SNI 2490	Kandungan klorida maksimum 0,05% untuk beton bertulang.	Peralatan titrasi, buret, larutan standar
Kandungan Sulfat (SO ₄)	SNI 2490	Maksimum 0,1% berat agregat.	Peralatan titrasi, larutan barium klorida (BaCl ₂)
Keausan Agregat (Abrasi)	Tidak diwajibkan untuk agregat halus dalam beton normal, tetapi opsional untuk kebutuhan tertentu.		Mesin Los Angeles (jika diperlukan untuk campuran khusus)
Kandungan Air Bebas	SNI 03-1974	Harus diukur sebelum pencampuran untuk menghitung perbandingan campuran (mix design).	Oven pengering, timbangan digital, bejana
Modulus Kehalusan (Fineness Modulus)	SNI 1971	Rentang modulus kehalusan untuk agregat halus adalah 2,3 - 3,1.	Serangkaian ayakan standar, timbangan digital
Kebersihan Agregat	SNI 2451	Agregat harus bebas dari lumpur, tanah liat, bahan organik, atau zat-zat lain yang berbahaya.	Serangkaian alat pencucian, timbangan digital

3.5.2. Agregat Kasar

Berikut adalah tabel pemilihan dan pengujian material beton untuk **agregat kasar** sesuai dengan **SNI 03-2847-2019** dan standar terkait:

Tabel 3. 3 Pengujian Agregat Kasar

Parameter yang Diuji	Metode Uji (SNI)	Kriteria/Spesifikasi	Peralatan yang Digunakan
Gradasi (Distribusi Butiran)	SNI 1970	Gradasi agregat kasar harus memenuhi batas zona gradasi yang ditentukan oleh SNI.	Serangkaian ayakan standar (ukuran 63 mm hingga 4,75 mm), timbangan
Kadar Lumpur	SNI 1975	Maksimum 1% untuk beton struktural.	Wadah pengaduk, timbangan digital, air
Berat Jenis dan Penyerapan Air	SNI 1969	Berat jenis (bulk density): $\geq 2,5$; Penyerapan air maksimum 3%.	Timbangan digital, keranjang kawat, oven
Kandungan Zat Organik	SNI 2827	Tidak boleh mengandung zat organik yang dapat memengaruhi kualitas beton.	Tabung uji, larutan natrium hidroksida (NaOH) 3%, timbangan digital
Kandungan Garam (Klorida)	SNI 2490	Kandungan klorida maksimum 0,05% untuk beton bertulang.	Peralatan titrasi, buret, larutan standar
Kandungan Sulfat (SO₄)	SNI 2490	Maksimum 0,1% berat agregat.	Peralatan titrasi, larutan barium klorida (BaCl ₂)
Keausan Agregat (Abrasi)	SNI 2417	Maksimal 40% untuk beton struktural (uji dengan mesin Los Angeles).	Mesin Los Angeles, bola baja, timbangan digital
Kandungan Air Bebas	SNI 03-1974	Harus diukur sebelum pencampuran untuk menghitung perbandingan campuran (mix design).	Oven pengering, timbangan digital, bejana
Modulus Kehalusan (Fineness Modulus)	SNI 1970	Modulus kehalusan harus sesuai dengan kebutuhan desain beton.	Serangkaian ayakan standar, timbangan digital
Kebersihan Agregat	SNI 2451	Bebas dari lumpur, tanah liat, bahan organik, atau zat lain yang dapat menurunkan mutu beton.	Serangkaian alat pencucian, timbangan digital
Ukuran Maksimum Agregat	SNI 1970	Ukuran maksimum harus $\leq 1/5$ dari dimensi terkecil elemen struktural atau $\leq 3/4$ jarak antar tulangan.	Alat ukur mekanis atau manual

3.5.3. Perhitungan Mix Design

Berikut adalah tabel perhitungan mix desain beton berdasarkan SNI 03-2834-2000 yang dapat digunakan untuk menentukan proporsi campuran beton. Proses ini mengacu pada kebutuhan kuat tekan, *workability*, jenis material, dan faktor-faktor lain yang memengaruhi desain campuran beton.

Tabel 3. 4 Perhitungan Mix Desain

Langkah Perhitungan	Parameter	Metode/Referensi	Keterangan
1. Menentukan Kuat Tekan (f_c)	Kuat tekan beton (f_c)	SNI 03-2834-2000	Ditentukan berdasarkan kebutuhan struktur (dalam MPa).
2. Menentukan Slump	Slump (cm)	SNI 1972	Disesuaikan dengan jenis elemen beton (contoh: 7-12 cm untuk kolom bertulang).
3. Menentukan Berat Jenis Material	Berat jenis agregat kasar dan halus	SNI 1969 dan SNI 1973	Diperlukan untuk menghitung volume campuran beton.
4. Memilih Ukuran Maksimum Agregat	Ukuran maksimum agregat kasar	SNI 1970	Contoh: ≤ 20 mm untuk elemen bertulang dengan jarak tulangan rapat.
5. Menentukan Faktor Air-Semen (W/C)	Rasio air-semen	Tabel hubungan f_c dan W/C di SNI	Disesuaikan dengan kuat tekan beton dan jenis semen.
6. Menghitung Kebutuhan Air	Air total (liter/m ³ beton)	Tabel kebutuhan air per slump dan agregat	Contoh: 205 liter untuk slump 10 cm dengan agregat maksimum 20 mm.
7. Menghitung Jumlah Semen	Semen (kg/m ³ beton)	$W/C \times \text{Kebutuhan air}$	Contoh: 205 liter air $\div 0,50$ (W/C) = 410 kg semen per m ³ beton.
8. Menentukan Volume Agregat Kasar	Volume agregat kasar	Tabel volume relatif agregat kasar	Berdasarkan modulus kehalusan agregat halus dan ukuran maksimum agregat kasar.
9. Menghitung Agregat Halus	Volume agregat halus	Total volume beton - volume bahan lainnya	Volume agregat halus dihitung sebagai selisih total volume dan volume bahan lain (semen, air, agregat kasar).
10. Koreksi Kandungan Air	Kandungan air agregat halus dan kasar	Uji kadar air agregat	Koreksi air pencampur sesuai kadar air alami dalam agregat.
11. Menyesuaikan Faktor Pematatan	Faktor pematatan beton segar	SNI 03-2834-2000	Disesuaikan untuk <i>workability</i> sesuai lokasi dan metode pengecoran.
12. Verifikasi Total Campuran	Total berat campuran per m ³ beton	Hasil akhir	Memastikan total volume campuran mendekati 1 m ³ .

3.5.4. Pembuatan Benda Uji

Berikut adalah tabel panduan pembuatan benda uji beton sesuai dengan standar SNI 1974:2011:

Tabel 3. 5 Pembuatan Benda Uji

Tahapan	Langkah Kerja	Standar/Referensi	Peralatan yang Digunakan
1. Persiapan Cetakan	- Bersihkan cetakan dari kotoran dan minyak.	SNI 1974:2011	Cetakan silinder (100 mm × 200 mm), minyak pelumas.
	- Oleskan pelumas pada bagian dalam cetakan.		Kuas, minyak anti lengket.
2. Pencampuran Beton	- Campur material beton (semen, agregat, air, admixture jika diperlukan).	SNI 2834:2000	Mixer beton, timbangan digital, wadah pencampur.
	- Pastikan homogenitas campuran sesuai rasio desain.		
3. Pengisian Cetakan	- Isi cetakan dalam 3 lapis dengan volume seimbang.	SNI 1974:2011	Cetakan silinder, sendok beton.
	- Setiap lapisan dipadatkan 25 kali menggunakan batang baja pematik.		Batang baja pematik (diameter 16 mm, panjang 600 mm).
	- Ratakan permukaan beton setelah pengisian selesai.		Sendok rata atau penggaruk.
4. Perawatan Awal (Curing)	- Simpan benda uji dalam cetakan selama 24 ± 2 jam di ruangan dengan suhu $27 \pm 2^\circ\text{C}$.	SNI 1974:2011	Ruangan curing, termometer.
	- Hindarkan dari getaran dan guncangan.		
5. Pembongkaran Cetakan	- Bongkar cetakan dengan hati-hati setelah 24 ± 2 jam.	SNI 1974:2011	Alat pembongkar cetakan.
	- Pastikan benda uji tidak retak atau cacat.		
6. Perawatan Lanjutan (Curing)	- Rendam benda uji dalam air bersuhu $27 \pm 2^\circ\text{C}$ hingga waktu pengujian.	SNI 1974:2011	Bak curing, termometer, alat pengukur waktu.
7. Dokumentasi Benda Uji	- Beri tanda pada setiap benda uji untuk identifikasi.	SNI 1974:2011	Spidol tahan air atau label tahan air.

3.5.6. Pengujian Benda Uji

Berikut adalah tabel panduan pengujian kuat tekan benda uji beton sesuai dengan standar SNI 1974:2011 tentang metode pengujian kuat tekan beton.

Tabel 3. 6 Pengujian Benda Uji

Tahapan	Langkah Kerja	Standar/Referensi	Peralatan yang Digunakan
1. Persiapan Benda Uji	- Periksa benda uji untuk memastikan tidak ada cacat fisik (retak, rongga).	SNI 1974:2011	Spidol atau label untuk identifikasi, alat pemeriksa visual.
	- Ukur dimensi benda uji (diameter dan tinggi).		Vernier caliper, pita pengukur.
	- Bersihkan permukaan benda uji dari kotoran.		Kuas atau kain bersih.
2. Kalibrasi Alat Uji	- Pastikan mesin uji tekan telah dikalibrasi.	SNI 1974:2011	Mesin uji tekan dengan kapasitas sesuai kebutuhan.
	- Atur laju pembebanan sesuai standar (0,50 MPa/detik).		Sistem kontrol laju beban pada mesin.
3. Penempatan Benda Uji	- Tempatkan benda uji beton di tengah plat tekan mesin.	SNI 1974:2011	Mesin uji tekan, pelat tekan yang rata.
	- Pastikan permukaan benda uji sejajar dengan pelat tekan.		Leveler (jika diperlukan).
4. Pengujian Kuat Tekan	- Jalankan mesin tekan dengan laju pembebanan konstan.	SNI 1974:2011	Mesin uji tekan otomatis atau manual.
	- Catat beban maksimum saat benda uji gagal (pecah).		Sistem pencatat beban pada mesin uji tekan.
5. Perhitungan Kuat Tekan	- Hitung kuat tekan dengan rumus:	SNI 1974:2011	Kalkulator atau perangkat lunak spreadsheet.
	dengan :		
	f_c = Kuat tekan (MPa).		
	P = Beban maksimum (N).		
	A = Luas penampang benda uji (mm ²).		
6. Dokumentasi Hasil	- Catat semua hasil pengujian (dimensi, beban maksimum, kuat tekan).	SNI 1974:2011	Formulir data uji, perangkat lunak komputer (jika tersedia).