

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Lokasi Penelitian

Kegiatan yang dilakukan pada penelitian ini diantaranya persiapan alat dan bahan penelitian, pengujian agregat penyusun beton, pembuatan benda uji beton, uji kuat tekan beton, dan perbaikan kerusakan beton dilaksanakan di Laboratorium Struktur Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.

3.2. Peralatan Penelitian

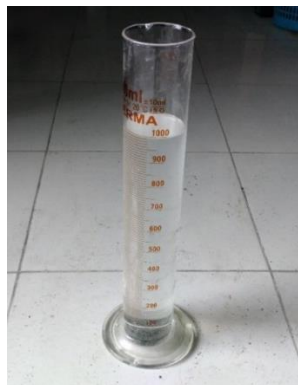
Peralatan yang digunakan dalam penelitian diantaranya sebagai berikut ini.

- a. Gelas ukur kapasitas 100 ml digunakan untuk mengukur volume resin dan *fly ash*.



Gambar 3. 1. Gelas ukur 100 ml

- b. Gelas ukur kapasitas 1000 ml digunakan untuk mengukur air sebagai bahan campuran pembuatan beton.



Gambar 3. 2. Gelas ukur 1000 ml

- c. Tabung *Erlenmeyer* digunakan untuk proses pemeriksaan berat jenis agregat halus.



Gambar 3. 3. Tabung *Erlenmeyer*

- d. Timbangan *Elektrikal* dengan ketelitian $\pm 0,5$ gram untuk menimbang berat setiap bahan penyusun beton.



Gambar 3. 4. Timbangan *Electrical*

- e. Oven, digunakan untuk proses pemeriksaan bahan-bahan penyusun beton khususnya agregat.



Gambar 3. 5. Oven

- f. Mesin ayakan (*Electric sieve shaker*) yang digunakan untuk pemeriksaan gradasi agregat halus.



Gambar 3. 6. *Electric sieve shaker*

- g. Cetok yang digunakan untuk mengaduk serta menuang campuran beton segar ke dalam cetakan.



Gambar 3. 7. Cetok

- h. Nampan besi, digunakan untuk tempat menuang sementara beton segar dari mesin *mixer*.



Gambar 3. 8. Nampan besi

- i. Mesin molen, digunakan untuk mencampur bahan-bahan penyusun beton sampai menjadi campuran beton segar yang homogen.



Gambar 3. 9. Mesin molen

- j. Kerucut *Abrams*, digunakan untuk pengujian *slump* beton.



Gambar 3. 10. Kerucut *Abrams*

- k. Cetakan beton berbentuk kubus dengan ukuran 15 cm x 15 cm 15 cm.



Gambar 3. 11. Cetakan beton kubus

- l. Alat injeksi berupa suntikan untuk menginjeksi campuran *grouting* ke bagian beton yang mengalami keretakan.



Gambar 3. 12. Alat injeksi

- m. Kaliper, digunakan untuk mengukur mengukur dimensi benda uji.



Gambar 3. 13. Kaliper

- n. Tongkat besi pematik, digunakan untuk memadatkan beton segar saat uji *slump* dan penyetakan beton.



Gambar 3. 14. Tongkat besi pematik

- o. Saringan, digunakan untuk pemeriksaan gradasi agregat halus.



Gambar 3. 15. Saringan

- p. Mesin uji tekan merek *Hung Ta* berkapasitas 2000 kN, digunakan untuk pengujian kuat tekan beton.



Gambar 3. 16. Mesin uji tekan

- q. Mesin abrasi *Los Angeles*, digunakan untuk pengujian keausan agregat kasar.



Gambar 3. 17. Mesin abrasi *Los Angeles*

3.3. Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini sebagai berikut:

- a. agregat halus berupa pasir dengan jenis pasir Progo yang didapat dari Kali Progo, Kulon Progo, Yogyakarta,



Gambar 3. 18. Pasir Progo

- b. agregat kasar berupa kerikil Clereng yang didapat dari Kulon Progo, Yogyakarta,



Gambar 3. 19. Kerikil Clereng

- c. semen *Portland Pozzolan Cement* (PCC) dengan merek Gresik,



Gambar 3. 20. Semen Gresik

- d. air yang digunakan pada penelitian ini diambil dari Laboratorium Struktur Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, dan
e. bahan campuran *grouting*, berupa resin bening, *catalyst*, dan *fly ash*.



Gambar 3. 21. Resin



Gambar 3. 22. *Catalyst*



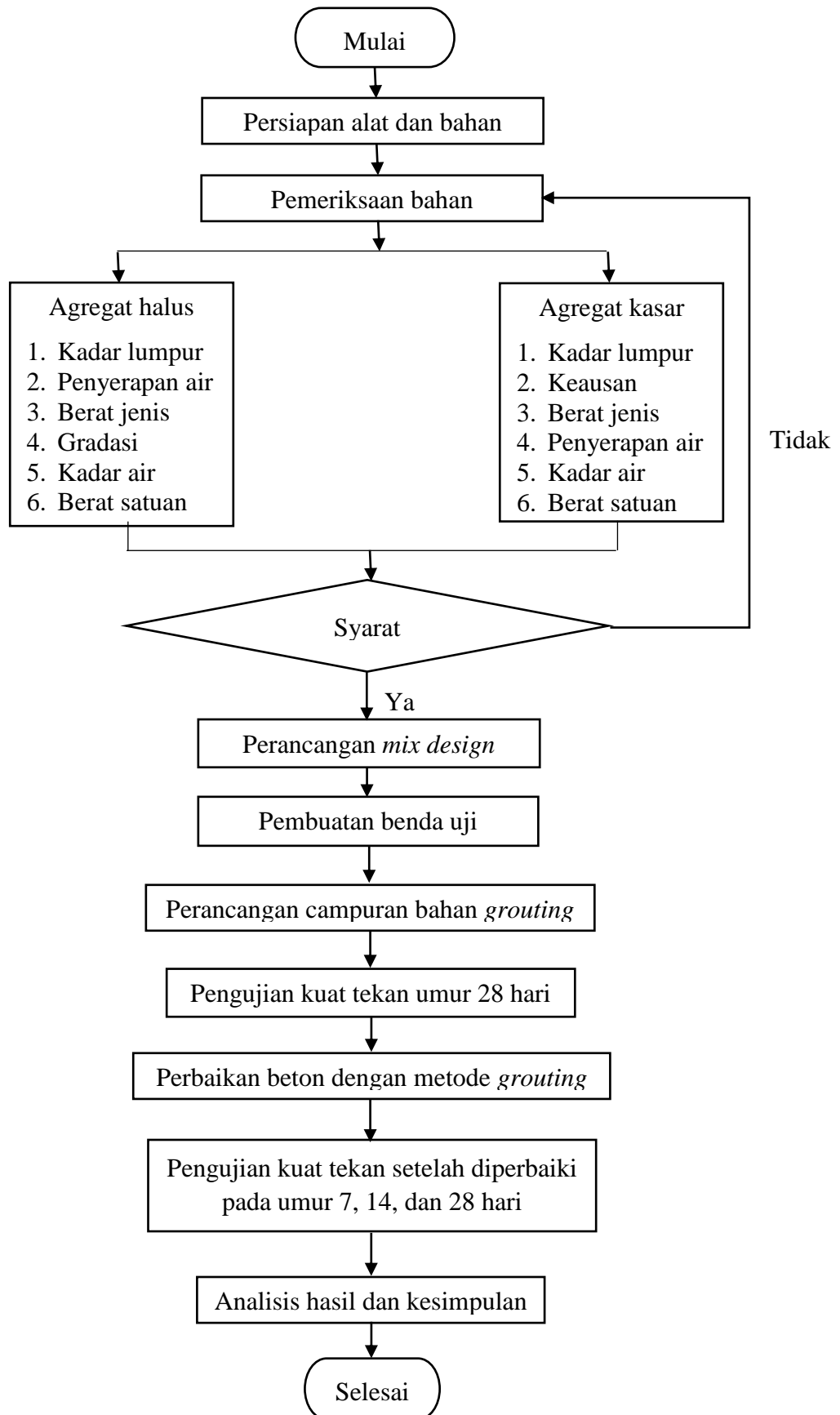
Gambar 3. 23. *Fly Ash*

3.4. **Prosedur Pelaksanaan Penelitian**

Tahapan-tahapan yang dilaksanakan dalam penelitian ini sebagai berikut:

- a. peralatan dan bahan penelitian dipersiapkan,
- b. pengujian bahan,
- c. perancangan *mix design* beton berdasar SNI 03-2834-2000,
- d. pembuatan benda uji beton,
- e. perancangan variasi campuran bahan *grouting*,
- f. pengujian kuat tekan beton sebelum perbaikan,
- g. perbaikan kerusakan beton dengan metode *grouting*, dan
- h. pengujian kuat tekan beton setelah dilakukan *grouting*.

Untuk memperjelas tahapan penelitian, dibuat bagan alir (*flowchart*) sebagai berikut sesuai pada Gambar 3.1.



Gambar 3. 24. Flowchart tahapan penelitian

Secara lebih terperinci, tahapan-tahapan dalam penelitian ini akan dijabarkan sebagai berikut ini.

- a. Peralatan dan bahan penelitian dipersiapkan.

Tahapan paling awal dari penelitian ini adalah tahap persiapan peralatan dan bahan penelitian. Bahan penelitian yang dipersiapkan yaitu semen, agregat kasar berupa kerikil, agregat halus berupa pasir, air, serta resin dan *fly ash* yang diunakan sebagai bahan *grouting*. Peralatan yang dipersiapkan seluruhnya sudah tersedia di Laboratorium Struktur Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.

- b. Pemeriksaan bahan penelitian.

Pemeriksaan bahan penelitian dilaksanakan dengan pengujian terhadap agregat kasar dan agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini. Tujuan pemeriksaan ini adalah untuk memperoleh bahan material yang memenuhi syarat. Beberapa pengujian yang dilakukan meliputi pengujian berat jenis dan penyerapan agregat, pengujian kadar air, pengujian kadar lumpur, pengujian berat satuan, pengujian keausan agregat, serta pengujian analisis gradasi butiran. Di bawah ini akan diperjelas setiap pengujian yang dilakukan sebagai berikut ini.

- 1) Pengujian berat jenis dan penyerapan air.

Jenis pengujian ini dilakukan untuk memperoleh nilai berat jenis curah, nilai berat jenis kering muka, nilai berat jenis jenuh semu atau tampak serta kadar penyerapan air pada agregat. Pengujian ini dilakukan pada agregat kasar dan halus dengan metode yang berbeda. Pada pengujian agregat halus digunakan pasir dengan butiran lolos ayakan 4,8 mm sebanyak 500 gram. Berdasarkan SNI 03-1970-1990, langkah-langkah pengujiannya sebagai berikut ini.

- a) Pasir dikeringkan dalam oven bersuhu $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ hingga beratnya tetap, setelah itu direndam dalam air selama 24 jam.
- b) Air rendaman dibuang dengan hati-hati agar butiran pasir tidak ada yang ikut terbang, kemudian pasir dikeringkan hingga mencapai keadaan jenuh jering muka (SSD).
- c) Pasir sebanyak 500 gram dalam keadaan jenuh kering muka dimasukkan ke dalam piknometer kemudian ditambahkan air suling hingga 90% penuh.

- d) Piknometer berisi pasir kemudian diputar dan dibolak-balikkan dengan tujuan mengeluarkan gelembung udara yang terperangkap di antara butiran-butiran pasir.
- e) Air ditambahkan pada piknometer hingga penuh agar gelembung udara keluar terbuang. Kemudian piknometer tersebut ditimbang (Bt).
- f) Pasir dikeluarkan dari dalam piknometer kemudian dikeringkan dalam oven bersuhu $(110\pm 5)^{\circ}\text{C}$ hingga beratnya tetap, setelah itu pasir didinginkan dalam desikator kemudian ditimbang (Bk).
- g) Piknometer kosong diisi air hingga 100% penuh kemudian ditimbang (B).
Selanjutnya pada agregat kasar, digunakan kerikil dengan butiran yang tertahan pada lubang 4,8 mm sebanyak 5000 gram untuk satu benda uji. Langkah pengujiannya sebagai berikut ini.
 - a) Kerikil dicuci terlebih dahulu untuk menghilangkan debu atau kotoran yang terdapat pada permukaan kerikil.
 - b) Kerikil dikeringkan dalam oven bersuhu $(110\pm 5)^{\circ}\text{C}$ hingga beratnya tetap.
 - c) Kerikil yang telah dikeluarkan dari oven, kemudian didinginkan hingga mencapai suhu kamar selama ± 3 jam, kemudian ditimbang (Bk).
 - d) Kerikil direndam dalam air pada suhu kamar selama ± 24 jam, kemudian dikeluarkan dan dilakukan pengelapan hingga kerikil berada pada keadaan jenuh kering muka dan dilakukan penimbangan (Bj).
 - e) Kerikil dimasukkan dalam keranjang kawat, kemudian ditimbang di dalam air untuk mengetahui berat dalam air (Ba).

Pada penelitian ini dilakukan masing-masing untuk 9 (sembilan) benda uji, sehingga didapat nilai rerata berat jenis dan penyerapan airnya. Nilai berat jenis kering muka agregat kasar dan halus dari penelitian ini kemudian digunakan pada perancangan *mix design* berdasarkan SNI 03-2834-2000.

2) Pengujian kadar air

Pengujian ini dilakukan untuk memperoleh nilai kadar air yang terkandung pada kedua jenis agregat, yaitu agregat kasar berupa kerikil dan agregat halus berupa pasir. Masing-masing agregat dilakukan pengujian dengan 9 (sembilan) benda uji masing-masing seberat 1000 gram untuk agregat kasar dan 500 gram untuk agregat halus. Dari 9 (sembilan) benda uji tersebut diambil nilai kadar

rerata. Tidak terdapat perbedaan langkah pengujian pada masing-masing agregat, langkah-langkah pengujian kadar air berdasar SNI 03-1971-1990 sebagai berikut:

- a) wadah yang akan dipakai untuk menempatkan agregat ditimbang, kemudian catat beratnya (W_1),
 - b) agregat dimasukkan dalam wadah kemudian timbang dan catat beratnya (W_2),
 - c) berat agregat dihitung dan dicatat ($W_3 = W_2 - W_1$).....(3.1),
 - d) agregat kemudian dikeringkan dalam oven bersuhu $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ hingga didapatkan berat tetapnya,
 - e) nampan berisi agregat yang sudah kering ditimbang dan dicatat beratnya (W_4), dan
 - f) berat agregat kering dihitung dan dicatat ($W_5 = W_4 - W_1$).....(3.2)
- 3) Pengujian kadar lumpur.

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kadar lumpur dari agregat kasar dan halus. Masing-masing jenis agregat dilakukan 9 (sembilan) benda uji untuk didapat nilai rerata. Langkah-langkah pengujian untuk kedua jenis agregat sama, yang membedakan hanya berat agregat yang diuji, untuk agregat kasar, berupa kerikil dengan butiran lolos saringan 19 mm seberat 5000 gram setiap benda ujinya. Sedangkan untuk agregat halus, berupa pasir lolos saringan 4,8 mm dan tertahan pada saringan no.200 (0,075 mm) seberat 500 gram setiap benda ujinya. Langkah-langkah pengujian kadar lumpur adalah sebagai berikut ini.

- a) Agregat dikeringkan dalam oven bersuhu $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ hingga didapat berat tetap, kemudian ditimbang seberat 5000 gram untuk agregat kasar dan 500 gram untuk agregat halus.
- b) Agregat dimasukkan dalam wadah dan ditambahkan air hingga agregat terendam seluruhnya.
- c) Wadah berisi agregat digoyang-goyangkan kemudian dituang ke saringan no.200.
- d) Langkah (c) diulangi hingga air cucian jernih.
- e) Agregat yang tertahan pada saringan no.200 kemudian dikeringkan dalam oven selama ± 24 jam.
- f) Agregat yang sudah kering oven kemudian ditimbang beratnya.

4) Pengujian berat satuan agregat.

Pengujian ini dilakukan pada masing-masing agregat kasar dan agregat halus. Berat satuan agregat adalah berat agregat dalam satu volume cetakan kubus dengan panjang sisi 15 cm. Langkah-langkah pengujiannya sebagai berikut ini.

- a) Cetakan kubus diisi dengan agregat hingga sepertiga bagian kubus.
 - b) Agregat dipadatkan dengan cara menusuknya sebanyak 25 kali dengan batang penusuk dari baja.
 - c) Cetakan kubus diisi lagi hingga dua per tiga penuh volumenya, kemudian langkah (b) diulangi.
 - d) Cetakan kubus dipenuhi dengan agregat kemudian langkah (b) diulangi hingga rata permukaan kubus.
 - e) Cetakan berisi penuh agregat ditimbang kemudian timbang juga cetakan pada saat kosong, hitung berat agregatnya.
- 5) Analisis gradasi butiran

Tabel 3. 1. Gradasi kekasaran pasir (Tjokrodimulyo, 2007)

Lubang ayakan (mm)	% Berat Butir Lolos Saringan			
	Daerah 1	Daerah 2	Daerah 3	Daerah 4
10	100	100	100	100
4,8	90-100	90-100	90-100	95-100
2,4	60-95	75-100	85-100	95-100
1,2	30-70	55-90	75-100	90-100
0,6	15-34	35-59	60-79	80-100
0,3	5-20	8-30	12-40	15-50
0,15	0-10	0-10	0-10	0-15

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui distribusi butir dari suatu agregat. Pengujian dilakukan dengan memasukkan benda uji agregat halus berupa pasir lolos saringan 4,8 mm sebanyak 1000 gram ke satu set ayakan (saringan no.4, 8, 16, 30, 50, 100 dan pan) yang telah dipasang pada mesin ayakan, kemudian diayak selama ± 15 menit. Pada penelitian didapatkan nilai rata-rata dari modulus halus butir (MHB) dan didapatkan juga daerah gradasi pasir yang digunakan dalam perancangan *mix design* beton. Daerah gradasi dapat diketahui dengan

dilakukan perhitungan dari hasil pengayakan sehingga didapatkan persen berat lolos kumulatif untuk setiap nomor saringan, kemudian dicocokkan dengan persyaratan daerah gradasi. Ada 4 (empat) daerah gradasi menurut SNI 03-2834-2000 berdasarkan persen berat lolos saringan seperti yang dapat dilihat pada Tabel 3.1.

6) Pengujian keausan agregat

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui tingkat abrasi atau keausan dari agregat kasar berupa kerikil clereng pada penelitian ini. Prosedur pengujian dilakukan berdasarkan SNI 2417:2008 tentang Cara Uji Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi *Los Angeles*. Agregat yang digunakan dalam pengujian ini adalah kerikil lolos saringan 19 mm dan tertahan saringan 12,5 mm sebanyak 2500 gram ditambah dengan kerikil lolos saringan 12,5 mm dan tertahan saringan 9,5 mm sebanyak 2500 gram, sehingga total berat benda uji tiap satu kali pengujian adalah 5000 gram. Benda uji tersebut dimasukkan dalam mesin bersama 11 buah bola baja kemudian dilakukan pemutaran 500 kali putaran. Pengujian ini dilakukan dengan 9 (sembilan) benda uji kemudian didapatkan nilai keausan rerata dari benda uji kerikil Clereng. Langkah-langkah pengujiannya sebagai berikut:

- a) agregat dicuci terlebih dahulu kemudian dikeringkan dalam oven bersuhu $(110\pm 5)^{\circ}\text{C}$ hingga beratnya tetap,
- b) benda uji dan bola baja dimasukkan dalam mesin abrasi *Los Angeles*,
- c) putaran mesin diatur dengan kecepatan 30 rpm sampai dengan 33 rpm, untuk jumlah putaran adalah 500 putaran,
- d) benda uji dikeluarkan dari mesin setelah selesai pemutaran, kemudian ditlakukan penyaringan dengan saringan no.12 (1,7 mm) dan butiran yang tertahan kemudian dicuci bersih, dan
- e) benda uji dikeringkan di dalam oven bersuhu $(110\pm 5)^{\circ}\text{C}$ hingga beratnya tetap, kemudian ditimbang beratnya.

c. Perancangan *Mix Design*

Perancangan *mix design* atau rencana campuran beton pada penelitian ini dilaksanakan berdasarkan SNI 03-2834-2000 tentang Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal. Penelitian ini merencanakan kuat tekan beton sebesar 30 MPa pada umur beton 28 hari. Hasil dari perancangan *mix design* ini

adalah didapatkan kebutuhan material tiap bahan penyusun beton untuk satu benda uji. Setelah didapatkan berat kebutuhan masing-masing material penyusun beton yaitu semen, air, kerikil dan pasir, maka didapatkan berat total keseluruhan satu benda uji.

d. Pembuatan Benda Uji

Pada penelitian ini akan dibuat 30 benda uji beton normal, yang akan dipakai sebanyak 27 benda uji, 3 lainnya untuk cadangan jika diperlukan penggantian benda uji. Kebutuhan bahan tiap material penyusun beton yang telah didapat dari *mix design* digunakan untuk menghitung kebutuhan tiap satu kali pengadukan menggunakan *mixer*. Sekali pengadukan untuk 5 (lima) benda uji, jadi berat kebutuhan tiap material dikali 5 (lima). Selanjutnya, setelah mesin *mixer* siap, proses pengadukan dimulai dengan memasukkan kerikil dan pasir terlebih dahulu, setelah itu semen dimasukkan. Jika ketiga bahan tersebut dinilai sudah tercampur dengan baik, baru dimasukkan air. Kemudian setelah semua bahan tercampur (homogen), dilakukan uji *slump*. Jika nilai *slump* telah memenuhi kriteria, barulah seluruh adukan beton segar dikeluarkan dari *mixer* untuk dimasukkan ke cetakan kubus yang telah diberi pelumas permukaan dalamnya agar mudah saat proses pelepasan beton dari cetakan. Pengisian cetakan ini dilakukan dengan tiap sepertiga volume penuh terisi beton segar kemudian ditusuk-tusuk dengan besi penusuk sebanyak 25 kali, langkah tersebut diulang hingga cetakan terisi penuh dengan beton segar. Langkah terakhir adalah dengan meratakan permukaannya menggunakan cetok. Beton sudah bisa dilepas dari cetakan ± 24 jam setelah proses pencetakan selesai.



Gambar 3. 25. Pengujian *slump* yang dilakukan saat proses pembuatan benda uji

e. Perancangan variasi campuran bahan *grouting*

Trial mix design campuran bahan *grouting* dilakukan pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan campuran bahan *grouting* yang sesuai untuk kebutuhan perbaikan beton. *Mix design* ini dilakukan karena belum diketahuinya spesifikasi pasti terhadap campuran bahan resin *catalyst* dan *fly ash*. Oleh karena itulah diperlukan tahapan *trial mix design*.

Agar mendapatkan spesifikasi yang diinginkan penelitian ini melakukan pengujian penyebaran (*flow table*). Dalam pengujian tersebut bahan harus menyebar dengan ukuran diameter 15cm untuk mendapatkan keenceran yang baik sebagai bahan *grouting*. Adapun langkah-langkah yang dilakukan dalam proses pengujian penyebaran (*flow table*) sebagai berikut ini.

- a) Memasukkan resin ke dalam wadah tempat pencampuran sebanyak 200 ml.
- b) Menambahkan *fly ash* ke dalam wadah kemudian diaduk hingga tercampur rata.
- c) Menambahkan *catalyst* sebanyak 3 ml ke dalam campuran resin dan *fly ash*.
- d) Menyiapkan pipa berukuran 6 cm berdiameter 3,18 cm dan kaca sebagai tempat penuangan campuran.
- e) Masukkan campuran tersebut kedalam pipa sampai terisi penuh.
- f) Angkat pipa tersebut untuk mengetahui penyebarannya.
- g) Tunggu dan amati selama 15 detik.
- h) Ukur hasil penyebaran bahan selama 15 detik menggunakan mistar.
- i) Catat hasil penyebaran campuran.

Tabel 3. 2. Hasil perancangan campuran bahan *grouting*

Jumlah resin dan <i>fly ash</i>	Diameter penyebaran
200 ml resin dan 50 gram <i>fly ash</i>	16 cm
200 ml resin dan 70 gram <i>fly ash</i>	15 cm
200 ml resin dan 85 gram <i>fly ash</i>	14,5 cm

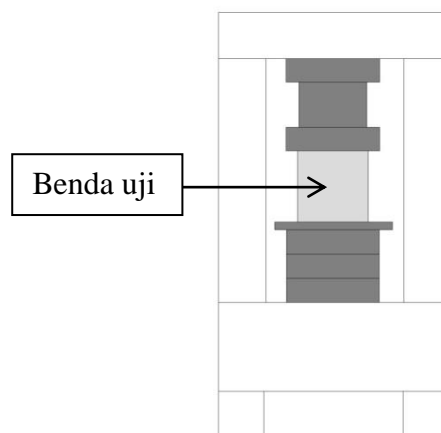
Setelah dilakukan beberapa kali *trial*, didapatkan campuran yang menghasilkan persebaran dengan diameter 15 cm, yaitu dengan penambahan *fly ash* sebanyak 70 gram. Setelah itu dicari kadar penambahan *fly ash* di atas dan di bawah kadar 70 gram sebagai perbandingan hasil perbaikan yang dapat dihasilkan. Hasil perancangan variasi campuran bahan *grouting* yang didapatkan disajikan pada Tabel 3.2.

f. Pengujian Kuat Tekan Beton

Beton diuji tekan setelah berumur 28 hari sesuai yang telah direncanakan. Sebelumnya beton harus diukur dimensinya sebagai data yang dimasukkan ke mesin uji tekan. Mesin uji tekan yang digunakan adalah mesin uji tekan berkapasitas 2000Kn merek *Hung Ta*. Beton ditekan sampai terlihat adanya retakan tetapi tidak sampai hancur agar tetap dapat diperbaiki. Dapat dilihat pada Gambar 3.2 saat dilakukan uji tekan kubus beton dan pada Gambar 3.3 merupakan *setting up* uji tekan kubus beton yang dilakukan.



Gambar 3. 26 Pengujian kuat tekan kubus beton



Gambar 3. 27 *Setting up* uji tekan kubus beton

g. Perbaikan Kerusakan Beton dengan Metode *Grouting*

Beton yang telah mengalami retakan atau rusak setelah uji tekan kemudian dilakukan perbaikan dengan *grouting* menggunakan campuran bahan resin dan *fly ash*. Variasi campuran bahan *grouting* yang digunakan ada 3 (tiga) macam seperti ditunjukkan pada Tabel 3.2. Penentuan komposisi campuran bahan *grouting* ini dilakukan dengan eksperimen. Tiap variasi campuran bahan *grouting* masing-masing digunakan untuk perbaikan 9 (sembilan) benda uji. Proses *grouting* sendiri dilakukan dengan menyuntikkan campuran resin dan *fly ash* menggunakan suntikan ke dalam retakan-retakan beton. Selain itu, campuran tersebut kemudian juga diplesterkan ke setiap permukaan beton untuk menutup retakan dan juga lubang-lubang atau keropos yang juga terjadi terdapat pada beton. Ditunjukkan proses *grouting* pada Gambar 3.4 di bawah ini.

Tabel 3. 3. Variasi campuran bahan *grouting*

Bahan	Campuran		
	C 50	C 70	C 85
Resin	200 ml	200 ml	200 ml
<i>Catalyst</i> (pengeras)	3 ml	3 ml	3 ml
<i>Fly Ash</i>	50 gram	70 gram	85 gram



Gambar 3. 28 Proses penyuntikan bahan *grouting*

h. Pengujian Kuat Tekan Beton Setelah Perbaikan

Pengujian yang dilakukan masih menggunakan mesin yang sama pada saat pengujian kuat tekan beton pertama, tahapannya juga sama yaitu dengan

mengukur dimensinya terlebih dahulu. Yang membedakan adalah umur beton diuji pada umur 7 hari, 14 hari, dan 28 hari. Setiap pengujian pada umur tersebut masing-masing terdiri dari 3 (tiga) beton yang telah *digrouting* dari setiap variasi campuran bahan *grouting*. Jadi akan ada 9 (sembilan) benda uji setiap jenis umur pengujian di atas.

i. Analisis Hasil dan Kesimpulan

Tahap terakhir dalam penelitian ini adalah analisis hasil data yang didapat dari tahapan-tahapan penelitian sebelumnya. Dari hasil data tersebut akan dibuat pembahasan hasil penelitian yang kemudian dapat ditarik kesimpulan pada penelitian ini.