

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar belakang

Perkembangan zaman era globalisasi yang semakin maju menimbulkan perkembangan teknologi konstruksi yang semakin pesat. Perkembangan teknologi konstruksi diperlukan agar kebutuhan akan bahan yang dibutuhkan tersedia dengan mudah dan cepat contohnya beton. Beton banyak digunakan sebab biayanya relatif murah serta gampang dibentuk dan bisa dirancang guna mencapai kekuatan yang direncanakan. Berbagai inovasi dalam bidang teknologi beton dikembangkan guna menghasilkan material beton yang instan, dan ramah lingkungan.

Agregat adalah salah satu bahan material pembentuk beton yang mempunyai komposisi terbesar dalam campuran beton, banyaknya jumlah penggunaan beton di dalam konstruksi mengakibatkan adanya peningkatan kebutuhan material beton, sehingga memicu penambangan batuan sebagai salah satu bahan pembentuk beton secara besar-besaran. Hal ini menyebabkan turunnya jumlah sumber alam yang tersedia bagi keperluan pembetonan.

Agregat batuan yang dijadikan objek penelitian adalah batu gunung yang terletak di Desa Alitta Kabupaten Pinrang yang kemudian di kelolah oleh salah satu persahaan lokal untuk dijadikan material agregat dengan berbagai ukuran. Material yang ditambang berasal dari ketiga lokasi penambangan (Quarry) yaitu Gunung Lakera Bum, Gunung Lompongan, Gunung Benderae. Penambangan material menggunakan alat-alat berat seperti Bracker, excavator, damp truck, dan Lhoder.

Material yang telah ditambang dengan diameter yang cukup besar kemudian diangkut menggunakan damp truck, dan selanjutnya dilakukan proses pemecahan dengan diameter yang lebih kecil dengan menggunakan mesin pemecah batu stone crusher.(Hakzah, Sulfanita, 2021)

Di Barru tepatnya di Desa Lasitae, Kecamatan Tanete Rilau, Kabupaten Barru Tengah dilakukan pembongkaran jalan kaku (rigid), Kabupaten Barru berada pada jalur Trans Sulawesi dan merupakan daerah lintas wisata antara Kota Makassar dengan Kabupaten Tana Toraja. salah satu limbah beton yang dihasilkan pada renovasi perbaikan jalan ini yaitu limbah hasil pembongkaran yang sudah tidak terpakai lagi. Hal ini dikarenakan sulitnya mencari lokasi pembuangan dan kurangnya pengetahuan mengenai pengolahan limbah beton. Limbah beton jika dibiarkan terus menumpuk dapat berdampak pada lingkungan sekitar. Permasalahan tersebut mendorong peneliti untuk memanfaatkan atau mendaur ulang limbah sisa beton yang dihasilkan dari suatu aktifitas pembongkaran atau pengadaan konstruksi sebagai agregat alternatif yang dapat menggantikan sebagian atau seluruh agregat alam di dalam campuran beton.

Namun beberapa penelitian dan penjelasan sebelumnya mengenai agregat kasar daur ulang cenderung menyatakan bahwa agregat kasar daur ulang kurang baik untuk digunakan pada beton struktur. Menanggapi pernyataan tersebut, peneliti menambahkan penggunaan zat kimia *bestmittel* ke dalam campuran beton yang menggunakan agregat kasar daur ulang yang diharapkan dapat menambah kekuatan beton tersebut. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar kuat beton substitusi agregat kasar daur ulang yang ditambahkan zat kimia

bestmittel serta diharapkan adanya penambahan *bestmittel* itu bisa menambah kuat tekan beton dengan agregat kasar daur ulang yang dimana pada penelitian sebelumnya hampir semua menyatakan agregat kasar daur ulang tidak cocok digunakan pada bangunan struktur dikarenakan kuat tekannya yang rendah.

Dari beberapa uraian yang telah dibahas diatas, melatarbelakangi penulis untuk mengambil penelitian mengenai **Pemanfaatan Limbah jalan Rigid Menggunakan Additive *bestmittel***.

B. Rumusan masalah

Rumusan masalah yang menjadi acuan dalam penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana pengaruh substitusi limbah jalan rigid terhadap kuat tekan dan tarik belah beton akibat variasi dari penambahan *Bestmittel*?
2. Bagaimana hasil perbandingan setiap campuran substitusi agregat kasar alami dengan agregat kasar daur ulang yang ditambah bahan *additive Bestmittel*?

C. Tujuan penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Mengetahui pengaruh substitusi limbah jalan rigid terhadap kuat tekan dan tarik beton akibat variasi dari penambahan *Bestmittel*
2. Mengetahui hasil perbandingan setiap campuran substitusi agregat kasar murni dengan agregat kasar daur ulang yang ditambah bahan *additive Bestmittel*

D. Batasan masalah

Agar penelitian ini dapat terarah dan sesuai dengan tujuan, maka diperlukan pembatasan masalah, yaitu sebagai berikut:

1. Perencanaan campuran beton sesuai SNI 7656:2012.
2. Kuat tekan beton yang direncanakan adalah 25 MPa.
3. Bahan *additive Bestmittel*
4. Jumlah variasi yang digunakan ada 3 yaitu beton normal, limbah jalan rigid 20%, limbah rigid + *Bestmittel* 0,5%
5. Pengujian yang dilakukan pada uji selinder adalah kuat tekan dan kuat tarik beton.
6. Standar pengujian kuat tekan benda uji menggunakan SNI 1974:2011.
7. Standar pengujian kuat tarik belah benda uji menggunakan SNI 03:2491:2002.
8. Nilai *slump* yang digunakan 75 – 100 mm dan pengujian *slump* dilakukan sesuai dengan SNI 1972:2008.

E. Manfaat penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memanfaatkan limbah jalan rigid sebagai pengganti agregat dalam campuran beton sehingga akan lebih ekonomis serta ramah lingkungan.
2. Dapat memberikan pengetahuan tentang penggunaan agregat kasar daur ulang dengan penambahan *Bestmittel* terhadap kuat tekan dan tarik beton.
3. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan ilmu pengetahuan dan teknologi (IPTEK) terutama dalam bidang konstruksi.
4. Hasil penelitian ini diharapkan dapat diterapkan oleh pihak kampus dan pemerintah dalam mengatasi limbah beton.

5. Dapat digunakan sebagai salah satu referensi untuk acuan penelitian yang berkaitan pemanfaatan limbah rigid dengan bahan *additive Bestmittel* selanjutnya.

F. Sistematika penulisan

Secara garis besar sistematika penulisan yang dapat disajikan sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang gambaran secara umum dan hal yang melatarbelakangi penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini dijelaskan tentang teori-teori yang berhubungan dan mendukung secara ilmiah dengan penelitian yang dilakukan serta sebagai landasan teori dalam penelitian.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini berisi penjelasan tentang metode yang akan digunakan dalam penelitian seperti jenis penelitian, lokasi dan waktu penelitian, alat dan bahan yang akan digunakan dalam penelitian, teknik pengumpulan data, teknik analisis data, serta bagan alir penelitian.

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi tentang hasil-hasil penelitian yang telah dilakukan melalui uji laboratorium yang dijabarkan dalam bentuk tabel, grafik, maupun gambar.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisi tentang kesimpulan dari seluruh rangkaian penelitian yang telah dilakukan serta saran-saran yang berupa sumbangan pikiran terkait dengan permasalahan penelitian.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Beton

Beton merupakan salah satu konstruksi yang telah umum digunakan untuk bangunan gedung, jembatan, jalan dan lain-lain. Beton ini dibuat dengan cara mencampurkan agregat halus (pasir), agregat kasar (kerikil), semen serta air sampai menjadi satu kesatuan. Campuran tersebut akan mengeras seperti batuan pengerasan terjadi karena peristiwa reaksi kimia antara semen dan air.

1. Klasifikasi Beton

Menurut Mulyono (2004) secara umum beton dibedakan kedalam 2 (dua) kelompok, yaitu:

- a. Beton berdasarkan kelas dan mutu beton.

Kelas dan mutu beton ini, dibedakan menjadi 3 (tiga) kelas, yaitu:

- 1) Beton kelas I

Beton kelas I adalah beton untuk pekerjaan-pekerjaan non struktural. Untuk pelaksanaannya tidak diperlukan keahlian khusus. Pengawasan mutu hanya dibatasi pada pengawasan ringan terhadap mutu bahan, sedangkan terhadap kekuatan tekan tidak disyaratkan pemeriksaan. Mutu kelas I dinyatakan dengan B0.

- 2) Beton kelas II

Beton kelas II adalah beton untuk pekerjaan struktural secara umum. Pelaksanaannya memerlukan keahlian yang cukup dan harus dilakukan di

bawah pimpinan tenaga ahli. Beton kelas II dibagi dalam mutu standar B1, K 125, K 175, dan K 225. Pada mutu B1, pengawasan mutu hanya dibatasi pada pengawasan terhadap mutu bahan sedangkan terhadap kekuatan tekan tidak disyaratkan pemeriksaan. Pada mutu K 125 dan K 175 dengan keharusan untuk memeriksa kekuatan tekan beton secara kontinu dari hasil pemeriksaan benda uji.

3) Beton kelas III

Beton kelas III adalah beton untuk pekerjaan struktural yang lebih tinggi dari K 225. Pelaksanaannya memerlukan keahlian khusus dan harus dilakukan di bawah pimpinan tenaga ahli. Disyaratkan adanya laboratorium beton dengan peralatan yang lengkap serta dilayani oleh tenaga ahli yang dapat melakukan pengawasan mutu beton secara kontinu.

Adapun pembagian kelas dan mutu beton ini dapat dilihat dalam tabel 2.1 berikut ini:

Tabel 2. 1 Kelas Dan Mutu Beton (Sumber: Mulyono. T, 2004)

Kelas	Mutu	σ'_{Bk} (Kg/cm ²)	σ'_{Bm} (Kg/cm ²)	Tujuan	Pengawasan terhadap mutu kekuatasn agregat tekan	
					Ringan	Tanpa
I	B ₀	-	-	Non Struktural	Ringan	Tanpa
II	B ₁	-	-	Struktural	Sedang	Tanpa
	K 125	125	200	Struktural	Ketat	Kontinu
	K 175	175	250	Struktural	Ketat	Kontinu
	K 225	225	200	Struktural	Ketat	Kontinu
III	K > 225	> 225	> 300	Struktural	Ketat	Kontinu

b. Berdasarkan jenisnya, beton dibagi menjadi 6 (enam) jenis, yaitu :

1) Beton ringan

Beton ringan merupakan beton yang dibuat dengan bobot yang lebih ringan dibandingkan dengan bobot beton normal. Agregat yang digunakan untuk memproduksi beton ringan pun merupakan agregat ringan juga. Agregat yang digunakan umumnya merupakan hasil dari pembakaran shale, lempung, slates, residu slag, residu batu bara dan banyak lagi hasil pembakaran vulkanik. Berat jenis agregat ringan sekitar $800-1800 \text{ kg/m}^3$ atau berdasarkan kepentingan penggunaan strukturnya berkisar 1400 kg/m^3 , dengan kekuatan tekan umur 28 hari antara 6,89 MPa sampai 17,24 MPa menurut SNI 08-1991-03.

2) Beton normal

Beton normal adalah beton yang menggunakan agregat pasir sebagai agregat halus dan split sebagai agregat kasar sehingga mempunyai berat jenis beton antara 2200 kg/m^3 – 2400 kg/m^3 dengan kuat tekan sekitar 15–40 MPa.

3) Beton berat

Beton berat adalah beton yang dihasilkan dari agregat yang memiliki berat isi lebih besar dari beton normal atau lebih dari 2400 kg/m^3 . Untuk menghasilkan beton berat digunakan agregat yang mempunyai berat jenis yang besar.

4) Beton massa (*mass concrete*)

Dinamakan beton massa karena digunakan untuk pekerjaan beton yang besar dan masif, misalnya untuk bendungan, kanal, pondasi, dan jembatan.

5) *Ferro-Cement*

Ferro-Cement adalah suatu bahan gabungan yang diperoleh dengan cara memberikan suatu tulangan yang berupa anyaman kawat baja sebagai pemberi kekuatan tarik dan daktil pada mortar semen.

6) Beton serat (*fibre concrete*)

Beton serat (*fibre concrete*) adalah bahan komposit yang terdiri dari eton dan bahan lain berupa serat. Serat dalam beton ini berfungsi mencegah retak-retak sehingga menjadikan beton lebih daktil daripada beton normal

2. Kelebihan dan Kekurangan Beton

Beton mempunyai fungsi yang penting dalam suatu bangunan kontruksi yang digunakan baik untuk struktur rumah tinggal, gedung bertingkat, dan berbagai macam infrastruktur yang lain.

a. Beton memiliki beberapa kelebihan seperti :

- 1) Beton mudah dibentuk menggunakan bekisting sesuai dengan kebutuhan struktur bangunan, memiliki ketahan yang tinggi terhadap temperature yang tinggi.
- 2) Beton memiliki kuat tekan yang tinggi.
- 3) Bahan baku beton relatif mudah didapat.
- 4) Beton relatif tidak memerlukan perawatan dan tahan lama.
- 5) Beton tahan aus dan bakar sehingga perawatannya relatif lebih murah dan mudah.

b. Namun beton juga memiliki kekurangan seperti :

- 1) Mutu akhir pekerjaan beton sangat dipengaruhi oleh mutu beton itu sendiri dan proses pelaksanaan pengecorannya.

- 2) Beton merupakan material dengan berat jenis yang lumayan besar yaitu 2400 kg/m^3 dan memiliki kuat tarik yang kecil sekitar 9-15% dari kekuatan tekannya.
- 3) Beton bersifat getas atau tidak daktail sehingga harus dihitung dengan teliti agar setelah dikompositkan dengan baja tulangan menjadi bersifat daktail, terutama pada struktur tahan gempa.

3. Faktor yang mempengaruhi kuat tekan beton

Faktor yang berpengaruh terhadap kuat tekan beton adalah:

a. Umur beton

Karena semakin lama umur beton maka peningkatan kuat tekannya pun akan semakin menurun, hal ini tidak dapat dilihat pada umur beton muda seperti 28 hari karena biasanya pada umur tersebut beton masih mengalami peningkatan, tetapi jika beton sudah berumur 360 hari ke atas baru akan terlihat penurunan tersebut.

b. *Workability* pada saat pengerjaan beton

Karena biasanya pada beton normal beton yang memiliki *workability* yang tinggi akan cenderung mengalami segregasi dan bleeding yang menyebabkan nilai kuat tekannya pun menurun.

c. Gradasi butiran

Pada saat pembuatan sampel beton tentu dibutuhkan gradasi yang tidak seragam dari gradasi yang paling kecil hingga besar untuk mengisi rongga-rongga atau celah pada saat pembuatan cetakan/silinder beton. Hal ini sangat berpengaruh karena jika jumlah gradasi agregat kasar yang seragam terlalu

besar maka rongga-rongga pada beton tidak akan tertutup sempurna dan mengakibatkan terjadinya lubang-lubang atau keropos pada bagian beton yang akan berakibat pada kekuatan beton yang menurun.

d. Perawatan beton (*curing*)

Perawatan beton adalah proses yang bertujuan untuk menjaga suhu pada saat proses hidrasi.

e. Kadar semen

Karena semakin tinggi kadar semen dalam beton, Maka semakin tinggi kuat tekan yang dihasilkan.

f. *Admixture*

Penggunaan bahan tambah seperti *pozzolan* dan *Superplasticizer* yang membantu meningkatkan *workabilitas* dan proses hidrasi semen dapat meningkatkan kuat tekan beton.

g. Porositas

Beton yang memiliki porositas tinggi akan memiliki kuat tekan yang rendah, sebaliknya beton yang lebih padat akan memiliki kuat tekan yang lebih tinggi.

B. Material Penyusun Beton

1. Agregat

Agregat merupakan material yang dominan pemakainya dalam dunia rekayasa sipil. Agregat yang digunakan dalam campuran beton dapat berupa agregat alam atau agregat buatan (Nurfitriana, Hakzah, 2023).

Agregat dibedakan menjadi 2 (dua) macam, yaitu agregat halus dan agregat kasar yang di dapat secara alami atau buatan.

a. Agregat halus

Agregat sebagai bahan pengisi yang memberikan sifat kaku dan stabilitas dimensi dari beton. Agregat halus sebaiknya berbentuk bulat dan halus dikarenakan untuk mengurangi kebutuhan air. Agregat halus yang pipih akan membutuhkan air yang lebih banyak dikarenakan luas permukaan agregat (*surface area*) akan lebih besar. Gradasi agregat halus sebaiknya sesuai dengan spesifikasi ASTM C-33, yaitu:

- 1) Mempunyai butiran yang halus.
- 2) Tidak mengandung lumpur lebih dari 5%.
- 3) Tidak mengandung zat organik lebih daro 0,5%. Untuk beton mutu tinggi dianjurkan dengan modulus kehalusan 3,0 atau lebih.
- 4) Gradasi yang baik dan teratur (diambil dari sumber yang sama)

Tabel 2. 2 Batas Gradasi Agregat Halus (Sumber: SNI 03-2834-2000)

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butiran Yang Lewat Ayakan			
	Zona I (Pasir Kasar)	Zona II (Pasir Agak Kasar)	Zona III (Pasir Agak Halus)	Zona IV (Pasir Halus)
9,6	100	100	100	100
4,8	90-100	90-100	90-100	90-100
2,4	60-95	75-100	85-100	95-100
1,2	30-70	55-90	75-100	90-100

b. Agregat Kasar

Agregat kasar merupakan agregat yang butirannya lebih besar dari 5 mm ataupun agregat yang seluruh butirannya bisa tertahan diayakan 4,75 mm. Agregat

kasar untuk beton bisa berbentuk kerikil sebagai hasil dari disintegrasi dari batuan ataupun berbentuk batu pecah yang diperoleh dari pemecahan manual maupun mesin. Agregat kasar mesti terdiri dari butiran-butiran yang keras, permukaan yang kasar. Agregat kasar harus memenuhi ketentuan kebersihan yaitu, tidak mengandung lumpur lebih dari 1%, serta tidak memiliki zat-zat organik yang bisa merusak beton.

Gradasi agregat adalah distribusi ukuran butiran dari agregat. Bila butiran agregat mempunyai ukuran yang sama (seragam), maka volume pori akan meningkat. Sebaliknya apabila butirannya bervariasi akan menyebabkan volume pori yang kecil. Hal ini dikarenakan butiran berukuran kecil akan mengisi pori diantara butiran yang lebih besar, sehingga pori-porinya menjadi sedikit.

Tabel 2.3 Batas Gradasi Agregat Kasar (Sumber: SNI 03-2834-2000)

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butiran Yang Lewat Ayakan		
	Zona I (38-4,76)	Zona II (19-4,76)	Zona III (9,6-4,76)
38,1	95-100	100	
19	37-70	95-100	100
9,52	10-40	30-60	50-85
4,76	0-5	0-10	0-10

Adapun kualitas agregat yang dapat menghasilkan beton mutu tinggi adalah:

- 1) Agregat kasar harus merupakan butiran keras dan tidak berpori. Agregat kasar tidak boleh hancur karena adanya pengaruh cuaca. Sifat keras diperlukan agar diperoleh beton yang keras pula, sifat tidak berpori untuk menghasilkan beton yang tidak mudah tembus oleh air.
- 2) Agregat kasar harus bersih dari unsur organik.

- 3) Agregat tidak mengandung lumpur lebih dari 10% berat kering. Lumpur yang dimaksud adalah agregat yang melalui ayakan diameter 0,063 mm, bila melebihi 1% berat kering maka kerikil harus dicuci terlebih dahulu.
- 4) Agregat mempunyai bentuk yang tajam. Dengan bentuk yang tajam maka timbul gesekan yang lebih besar pula yang menyebabkan ikatan yang lebih baik, selain itu dengan bentuk tajam akan memerlukan pasta semen sehingga akan mengikat dengan lebih baik.

2. Semen Portland

Semen Portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis dengan gips sebahagi bahan tambahan. Fungsi semen ialah untuk merekatkan butir-butir agregat agar terjadi suatu massa yang kompak atau padat, selain itu juga untuk mengisi rongga diantara butiran-butiran agregat.

Tabel 2. 4 Susunan oksida semen Portland (Tjokrodimulyo, 1996)

No.	Oksida	Persentase
1	Kapur (Ca O ₄)	60 – 65
2	Silika (SiO ₂)	17 – 25
3	Alumina (Al ₂ O ₃)	3 – 8
4	Besi (Fe ₂ O ₃)	0,5 – 6
5	Magnesia (MgO)	0,5 – 4
6	Sulfur (SO ₃)	1 – 2
7	Soda / Portash (Na ₂ O + K ₂ O)	0,5 – 1

Menurut SII 0031-81 (Tjokrodimulyo, 1996), semen Portland dibagi menjadi lima jenis, namun untuk penggunaan umum biasanya hanya digunakan jenis semen tipe 1 (satu) karena tidak memerlukan persyaratan khusus terhadap

panas hidrasi dan kekuatan tekan awal serta cocok dipakai pada tanah dan air yang mengandung sulfat antara 0-0,1%.

- a. Tipe I: Semen portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan khusus.
- b. Tipe II: Semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.
- c. Tipe III: Semen portland yang dalam penggunaannya menuntut kekuatan awal yang tinggi.
- d. Tipe IV: Semen portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan panas hidrasi rendah.
- e. Tipe V: Semen portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan sangat tahan terhadap sulfat.

Untuk keperluan campuran pembuatan beton, semen harus memenuhi syarat-syarat sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI) sebagai berikut:

- a. Waktu pengikatan awal untuk segala jenis semen tidak boleh kurang dari 1jam (60 menit).
- b. Pengikatan awal semen normal 60 – 120 menit.
- c. Air yang digunakan memenuhi syarat air minum, yaitu bersih dari zat organik yang dapat mempengaruhi proses pengikatan awal.
- d. Suhu ruangan 23° c.

3. Air

Air adalah bahan yang diperlukan untuk proses reaksi kimia dengan semen untuk membentuk pasta semen. Air juga dipakai untuk pelumas antara butiran

dalam agregat agar mudah dikerjakan dan dipadatkan. Air dalam campuran beton menyebabkan terjadinya proses hidrasi dengan semen. Jumlah air yang berlebihan akan menurunkan kekuatan beton. Namun air yang terlalu sedikit akan menyebabkan proses hidrasi yang tidak merata.

Faktor air sangat mempengaruhi dalam pembuatan beton, karena air dapat bereaksi dengan semen yang akan menjadi pasta pengikat agregat. Air juga berpengaruh terhadap kuat tekan beton, karena kelebihan air akan menyebabkan penurunan kekuatan beton itu sendiri. Selain itu, kelebihan air akan menurunkan mutu dan mengakibatkan beton mengalami bleding, yaitu air akan bergerak ke atas permukaan adukan beton segar yang baru saja dituang. Hal ini akan menyebabkan kurangnya lekatan antara lapis-lapis beton dan mengakibatkan beton menjadi lemah. Air pada campuran beton akan berpengaruh pada:

- a. Mutu beton.
- b. Sifat *workability* adukan beton.
- c. Besar kecilnya nilai susut beton.
- d. Kelangsungan reaksi hidrasi semen portland.
- e. Perawatan keras adukan beton guna menjamin pengerasan yang baik

Air adalah bahan untuk mendapatkan kelecakan yang perlu untuk penggunaan beton. Jumlah air yang digunakan tentu tergantung pada sifat material yang digunakan. Air yang mengandung kotoran yang cukup banyak akan mengganggu proses pengerasan atau ketahanan beton. Pengaruh kotoran secara umum dapat menyebabkan:

- a. Gangguan pada hidrasi dan pengikatan.

- b. Gangguan pada kekuatan dan ketahanan.
- c. Perubahan volume yang dapat menyebabkan keretakan.
- d. Korosi pada tulangan baja maupun kehancuran beton.
- e. Bercak-bercak pada campuran beton.

Air untuk pembuatan beton minimal memenuhi syarat sebagai air minum yang tawar, tidak berbau, dan tidak mengandung bahan-bahan yang dapat merusak beton, seperti minyak, asam, alkali, garam atau bahan-bahan organis lainnya yang dapat merusak beton atau tulangnya (SNI 03-2847-2019).

Selain untuk reaksi pengikatan, dapat juga untuk perawatan sesudah beton dituang. Air untuk perawatan (*curing*) harus memiliki syarat-syarat yang lebih tinggi dari air untuk pembuatan beton. Keasamannya tidak boleh PHnya > 6 , juga tidak dibolehkan terlalu sedikit mengandung kapur.

Jenis-jenis air untuk campuran beton :

- a. Air hujan

Air hujan menyerap gas dan udara pada saat jatuh ke bumi. Biasanya air hujan mengandung unsur oksigen, nitrogen dan karbon dioksida.

- b. Air permukaan

Terdiri dari air sungai, air danau, air genangan, dan air reservoir. Air sungai atau danau dapat digunakan sebagai air pencampuran beton asal tidak tercemar limbah industri. Sedangkan air rawa atau genangan yang mengandung zat-zat alkali tidak dapat digunakan.

- c. Air tanah

Biasanya mengandung unsur kation dan anion. Selain itu juga kadang-kadang terdapat unsur CO₂, H₂S dan NH₃.

d. Air laut

- 1) Air laut mengandung 30.000–36.000 mg/liter gram (3 %-3,6 %) dapat digunakan sebagai air campuran beton tidak bertulang.
- 2) Air laut yang mengandung garam diatas 3% tidak boleh digunakan untuk campuran beton.
- 3) Untuk beton pratekan, air laut tidak diperbolehkan karena akan mempercepat korosi pada tulangnya.

Air yang dipergunakan harus memenuhi syarat sebagai berikut:

- a. Tidak mengandung lumpur dan benda melayang lainnya yang lebih dari 2 gram/liter.
- b. Tidak mengandung garam atau asam yang dapat merusak beton, zat organik dan sebagainya lebih dari 15 gram/liter
- c. Tidak mengandung *klorida* (Cl) yang lebih dari 1 gram/liter.
- d. Tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gram/liter.

C. Material Alternatif

1. Limbah beton

Saat ini beton menjadi salah satu material yang paling banyak digunakan dalam konstruksi. Salah satu bahan baku beton adalah split dari batu alam. Namun penambangan batu telah menyebabkan kerusakan lingkungan yang sama besarnya dengan kerusakan akibat tumpukan limbah beton di berbagai tempat.

Pemakaian limbah pada sebagai pengganti agregat kasar terhadap

pembuatan beton di harapkan mampu mengurangi penggunaan material alam serta dapat mengatasi dampak yang diakibatkan dari limbah tersebut. Limbah padat tersebut berupa bongkaran beton dari kontruksi bangunan atau dari hasil penelitian uji kuat tekan. Oleh karena itu dalam penelitian ini limbah beton akan dicoba sebagai material bahan pengisi campuran beton dan untuk melihat apakah dapat memberikan dampak positif terhadap beton tersebut.

Menurut Hardjasaputra dan Ciputera (2018) kekuatan beton yang dihasilkan dengan menggunakan agregat kasar limbah beton adalah sebesar 84%-86% dari kuat tekan beton yang direncanakan. Oleh karena itu perlu diketahui pengaruh penggunaan limbah beton sebagai pengganti sebagian atau lebih agregat kasar dan agregat halus terhadap kuat tekan beton. Sehubungan dengan hal tersebut dilakukan penelitian tentang pengaruh penggunaan agregat kasar dan agregat halus dari limbah beton terhadap kuat tekan beton normal ($f_c' = 25$ MPa).

Menurut I Gusti Made Sudika, I Gusti Ngurah Eka Pratama, dan I Gede Surya Dinata (2019). Pada penelitian yang dilakukan sebelumnya diperoleh hasil:

a. Gradasi

Bentuk dan tekstur serta diameter butiran agregat limbah beton sama dengan agregat alam. Hal ini dikarenakan ukuran butiran dapat diatur pada alat pemecahnya dan saringannya.

b. Kandungan Mortar dan Pasta Semen

Kandungan mortar dan pasta semen yang mengeras, yang ada pada agregat limbah beton berkisar antara 20–35% untuk agregat kasar dan untuk

agregat halus kurang lebih 45–60%. Kandungan mortar dan pasta semen tersebut mengakibatkan kekerasannya menurun dan adanya pasta semen yang mengeras disekeliling agregat kasar juga mengakibatkan permukaannya lebih licin sehingga bisang temu pada material beton agregat daur ulang menjadi lebih banyak. Hal ini menunjukkan sifat yang berbeda dengan agregat alam dan akan berpengaruh terhadap kekuatan tekan beton yang dibentuknya.

c. Berat Jenis

Berat jenis agregat limbah beton tidak beda signifikan dengan agregat alam, yaitu 2440 kg/m^3 untuk agregat limbah beton sedangkan agregat alam mempunyai berat jenis 2460 kg/m^3 .

d. Penyerapan Air

Nilai penyerapan air atau absorpsi yang terjadi pada agregat limbah beton cenderung lebih besar yaitu 4,61% dibandingkan absorpsi agregat alam sebesar 3,95%. Hal ini dikarenakan agregat limbah beton masih tertutupi oleh mortar yang bersifat porous.

e. Tingkat Keausan

Tingkat keausan yang terjadi pada agregat limbah beton sebesar 36,04% sedangkan pada agregat alam sebesar 31,28%.

2. Bahan Tambah Zat Additive (Bestmittel)

Bahan tambah adalah suatu bahan berupa bubuk atau cairan yang ditambah kedala adukan beton selama pengadukan dengan tujuan untuk mengubah sifat adukan atau betonnya (SK SNI S-18-1990-03). Bahan kimia tambahan

(*chemical admixture*) untuk beton ialah bahan tambahan (bukan bahan pokok) yang dicampurkan pada adukan beton, untuk memperoleh sifat khusus dalam pengerjaan adukan, waktu pengikat, waktu pengerasan, dan maksud lainnya (SK SNI S-04-1989-F).

Sebuah jurnal mengatakan bahwa, *a sulfonated lignin composition suitable for use as an additive in other chemical compositions and processes having improved solubility in aqueous medium at varying pH levels, and a method of producing such sulfonated water-soluble lignin products by reaction of an unsulfonated or a sulfonated starting lignin compound with sulfuric acid having a concentration of at least about 95%, 2-12 while maintaining the temperature of the reaction below 40° C. for a sufficient time to sulfonate the same. Sulfuric acid sulfonation increases the organically bound sulfonic acid content of the starting lignin compound at least about 1.7 moles sulfonic acid per mole of lignin, while providing water-solubility of the product at a wide range of pH levels* (Dilling 1986), dari kutipan jurnal diatas disimpulkan bahwa *lignin sulfonate acid* ini, merupakan sebuah senyawa *lignin* tersulfonasi yang sesuai digunakan sebagai aditif dalam komposisi dan proses kimia lainnya yang meningkatkan kelarutan dalam media berair pada berbagai tingkat pH.

Lignosulfonat (LS) adalah polimer polielektrolit anionik yang larut dalam air: merupakan produk sampingan dari produksi pulp kayu menggunakan pembuatan pulp sulfit. Kebanyakan delignifikasi dalam pembuatan pulp sulfit melibatkan pembelahan asam pada ikatan eter, yang menghubungkan banyak unsur *lignin*. *Lignin* tersulfonasi (SL) mengacu pada bentuk produk sampingan *lignin*

lainnya, seperti produk sampingan yang berasal dari proses Kraft yang jauh lebih populer, yang telah diproses untuk menambahkan gugus asam sulfonat. Keduanya memiliki kegunaan serupa dan sering tertukar satu sama lain, karena SL jauh lebih murah. LS dan SL keduanya tampak sebagai bubuk yang mengalir bebas; yang pertama berwarna coklat muda sedangkan yang kedua berwarna coklat tua.

Ketentuan dan syarat mutu bahan tambah admixture sesuai dengan ASTM C 494-81 “*Standard Specification For Chemical Admixture For Concrete*”. Adapun definisi tipe dan jenis bahan tambah kimia tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Tipe A, *Water Reducing Admixture*. Adalah bahan tambah yang bersifat mengurangi jumlah air pencampuran beton untuk menghasilkan beton yang konsistensinya tertentu.
2. Tipe B, *Retarding Admixture*. Adalah bahan tambahan yang berfungsi menghambat pengikatan beton.
3. Tipe C, *Accelerating Admixture*. Adalah bahan tambahan berfungsi mempercepat pengikatan dan pengembangan kekuatan awal beton.
4. Tipe D, *Water Reducing And Retarding Admixture*. Adalah bahan tambahan yang berfungsi ganda untuk mengurangi jumlah air pencampuran yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu dan menghambat pengikatan beton.
5. Tipe E, *Water Reducing And Accelerating Admixture*. Adalah bahan tambahan berfungsi ganda untuk mengurangi jumlah air pencampuran yang diperlukan

untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu dan mempercepat pengikatan beton.

6. Tipe F, *Water Reducing And High Range Admixture*. Adalah bahan tambahan yang berfungsi mengurangi jumlah air pencampuran yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu sebanyak 12%.
7. Tipe G, *Water Reducing, High Range and Retarding Admixture*. Adalah bahan tambahan yang berfungsi mengurangi jumlah air pencampuran yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu sebanyak 12% atau lebih dan juga menghambat pengikatan beton.

Bestmittel merupakan bahan tambah kimia berbahan dasar *Lignin Sulfonic Acid* yang sesuai dengan ASTM–C 494-81 “*Standart Specification For Chemical Admixture For Concrete*”. *Bestmittel* termasuk jenis bahan tambah kimia Tipe E, *Water Reducing dan Accelerating Admixture* adalah bahan tambah yang berfungsi ganda mengurangi jumlah air pencampuran yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu dan mempercepat pengikatan/perkerasan beton. *Bestmittel* sangat membantu untuk pengecoran dengan jadwal waktu yang sangat ketat karena beton cepat mengeras pada usia awal (7-10 hari) serta meningkatkan mutu/kekuatan beton 5% - 10%.

Adapun manfaat dari *bestmittel* adalah:

1. Proses pembetonan lebih cepat, pembongkaran beton dari cetakan dapat dilakukan lebih awal
2. Mengurangi pemakaian air 5 % - 20 % sehingga membuat beton lebih solid dan plastis

Prosedur pemakaian:

1. Siapkan air sejumlah $\frac{1}{2}$ dari berat semen yang akan dipakai
2. Siapkan *bestmittel* sebanyak 0,2 % - 0,6 % dari berat semen, umumnya 1 kg *bestmittel* untuk 200 kg – 450 kg semen
3. Encerkan *bestmittel* dengan menggunakan sebagian air yang telah disiapkan
4. Aduk semen, pasir, dengan air yang belum dicampur *bestmittel* hingga merata
5. Kemudian tambahkan *bestmittel* yang telah diencerkan ke dalam adukan sampai merata. Bila adukan beton terlalu encer, air yang sudah disiapkan dapat dikurangi jumlahnya
6. Untuk mendapatkan hasil yang maksimal, tutuplah dengan karung basah setelah pengecoran selesai.

Menurut Mulyono (2004) bahan tambah mineral (*additive*) merupakan bahan tambah yang berguna untuk memperbaiki kinerja beton dan lebih digunakan untuk memperbaiki kerja beton sehingga bahan ini lebih cenderung bersifat penyemenan. Ada beberapa bahan tambah yang termasuk dalam bahan tambah mineral, antara lain *fly ash*, *slag* dan *silica fume*.

D. Sifat-Sifat Mekanis Beton

Sifat-sifat mekanis yang ada pada beton dibagi menjadi 2 (dua), yaitu sifat mekanis jangka pendek dan jangka panjang. Sifat mekanis jangka pendek, yaitu kuat tekan beton, kuat tarik beton, kuat geser beton, dan modulus elastisitas beton. Sedangkan untuk sifat mekanis jangka panjang, yaitu rangkai dan susut pada beton.

1. Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton merupakan kemampuan beton untuk menerima tekanan yang berupa gaya tekan per satuan luasnya. Kuat tekan beton dapat diketahui dengan pengujian dengan menggunakan sampel beton berbentuk silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Kuat tekan beton dapat diketahui dalam umur 28 hari dan dinyatakan dalam satuan MPa. Selama 28 hari, beton disimpan dan dirawat dengan suhu dan kelembaban yang tetap.

Adapun kuat tekan beton dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$f'c = \sigma = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana:

$f'c = \sigma$ = Kuat tekan Beton (MPa)

P = Beban maksimum (N)

A = Luas permukaan sampel (mm²)

Menurut SNI 2847:2013, Untuk beton struktur, Kuat tekan $f'c$ tidak boleh kurang dari 17 MPa. Nilai maksimum $f'c$ tidak dibatasi kecuali bilamana dibatasi oleh ketentuan standar tertentu.

2. Kuat Tarik Belah

Kuat tarik merupakan kuat tarik beton yang ditentukan berdasarkan kuat tekan silinder beton yang ditekan pada sisi panjangnya. Kuat tarik beton tergolong rendah, nilai kuat tekan dan kuat tarik beton tidak berbanding lurus. Setiap upaya peningkatan mutu kuat tekan hanya diiringi dengan sedikit peningkatan nilai kuat tarik. Kuat tarik lebih sulit diukur dibandingkan dengan kuat tekan karena adanya

kendala penjepitan pada mesin. Pengujian kuat tarik beton dilakukan melalui pengujian silinder belah (Tandon, Adnan, 2024).

Kekuatan tarik beton lebih rendah dari kekuatan tekan beton karena hanya sekitar 10-15% dari kekuatan tekannya, hal ini disebabkan oleh adanya retak-retak halus pada beton. Hitung kuat tarik belah dari benda uji dengan rumus sebagai berikut:

$$F_{ct} = \frac{2.P}{2.D} \dots\dots\dots (2)$$

Dimana:

F_{ct}	= kuat tarik belah	(MPa)
P	= Beban uji maksimum	(N)
L	= Panjang benda uji	(mm)
D	= Diameter benda uji	(mm)

3. Susut Beton

Susut pada beton adalah perubahan volume beton yang tidak dipengaruhi oleh pembebanan melainkan akibat beton yang kehilangan air akibat penguapan selama proses pengikatan beton dan juga dapat diartikan akibat perubahan muatan campuran dan perubahan fisika-kimia seiring penambahan waktu setelah proses pengerasan beton.

E. Kajian Hasil Penelitian Terdahulu

1. (Dewi, 2023) “Pemanfaatan Limbah Hasil Pengujian Beton Pada Proyek Bypass (BIL) Mandalika Sebagai Pengganti Sebagian Agregat Kasar Beton Normal”. Dalam penelitian ini, peneliti memanfaatkan limbah beton hasil uji tekan pada pembangunan Bypass BIL Mandalika untuk menggantikan sebagian agregat kasar. Benda uji berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm

digunakan sebagai sampel pengujian tekan , dengan mutu beton rencana 30 MPa. Variasi persentase penggantian sebagian agregat kasar dengan limbah beton yang digunakan pada penelitian ini berturut-turut 15%,29%,25% dan 30%. Standar tata cara pembuatan rencana campurn beton normal mengacu pada SNI 03-2834-2000 Hasil pengujian menunjukkan bahwa kuat tekan meningkat pada penggantian 20% sebagian agregat kasar dengan limbah beton. Nilai kuat tekan yang didapat sebesar 31,29 MPa. Kuat Tekan menurun seiring dengan peningkatan persentasi penggantian agregat kasar dengan limbah beton.. Pada penambahan 30% Limbah beton kuat tekan menurun hingga sebesar 25,55 MPa.

2. (Soelarso & Baehaki, 2016)“Pengaruh Penggunaan Limbah Beton Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Beton Normal Terhadap Kuat Tekan Dan Modulus Elastisitas” Penelitian ini merencanakan beton normal dengan kuat tekan yang ditargetkan adalah 25 MPa dan menggunakan slump 30-60 mm serta menggunakan Portland Pozzolan Cement (PPC). Penggunaan proporsi agregat limbah dalam penelitian ini adalah 25%, 50%, 75% dan 100 % dari berat total agregat alami dengan umur pengujian 7 hari, 14 hari, 21 hari dan 28 hari. Jumlah benda uji 48 buah (3 benda uji untuk setiap umur pengujian dan proporsi). Hasil kuat tekan dan modulus elastisitas akan dibandingkan dengan nilai teoritis. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa semakin besar penggunaan limbah beton, semakin besar penurunan yang terjadi pada nilai kuat tekan dan modulus elastisitas.

Berdasarkan hasil pengujian, penggunaan limbah pada beton dengan proporsi 25% menunjukkan penurunan rata-rata nilai kuat tekan dan modulus elastisitas yang cukup signifikan yaitu 45,39% dan 77,35%. Berlanjut proporsi berikutnya yaitu 50% menunjukkan penurunan 56,99% dan 77,45%. Proporsi 75% menunjukkan penurunan 61,65% dan 79,26%. Proporsi 100% menunjukkan penurunan 66,62% dan 79,12%. Proporsi paling optimum dari penelitian ini adalah proporsi limbah 25%. Variabilitas kualitas limbah mengakibatkan perbedaan sifat-sifat material beton yang dihasilkan dan cenderung menurunkan kuat tekan dan modulus elastisitas.

3. (Nugraha et al., 2017) Melakukan penelitian tentang Pengaruh Variasi Bahan Tambah Abu Sekam Padi dan Zat Adiktif Bestmittel 0,5% Terhadap Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi. Dengan adanya penambahan abu sekam padi dan Bestmittle pada beton dapat meningkatkan kuat tekan beton yang lebih tinggi, dari 3 variasi 5% ; 10% dan 15% dengan tambahan zat additive (Bestmittel) 0,5% diperoleh kuat tekan rata-rata yaitu sebesar 32,23 MPa ; 31,84 MPa ; dan 27,71 MPa dengan nilai standar deviasi 5,381 MPa; 3,541 MPa; dan 4,817 MPa, sehingga dapat disimpulkan bahwa dalam penelitian ini hasil kuat tekan yang diperoleh belum sesuai dengan yang direncanakan yaitu beton mutu tinggi.
4. (Budiman Budiman & Syilviana Dwi Adhistie, 2020) Penambahan Limbah Mortar dan Additive Bestmittel Terhadap Kuat Tekan Beton Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi karakteristik agregat sebagai bahan penyusun beton dan menentukan nilai kuat tekan beton. Metode yang digunakan yaitu metode

DOE (Departement Of Environment) dengan jenis penelitian eksperimen laboratorium dengan variasi sampel limbah mortar 50% dan 60% terhadap pasir dengan 0.6% additive bestmittell. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan menggunakan subsitusi limbah mortar pada campuran beton mempengaruhi nilai kuat tekan karakteristik beton. Dimanainilai kuat tekan karakteristik pada umur 28 hari diperoleh 196,04 kg/cm² untuk beton normal, sedangkan nilai kuat tekan beton setelah dilakukan subsitusi limbah Mortar 50% dan 60% denganadditive bestmittel0.6% diperoleh 105.11 kg/m³ dan 167.56 kg/cm². Nilai tersebut jika dibandingkan denganmix designrencana yaitu175 kg/m³ atau K-175, hanya beton normal yang memenuhi sedangkan beton dengan llimbah mortar d(Sulistyawati, 2020)engan additive tidak memenuhi. Penurunan nilai kuat tekan sebesar 90.93 kg/cm² dan 28.48 kg/cm² atau 46.38% dan 14.53% terhadap beton normal.

5. (Sulistyawati, 2020) Pengaruh Penggunaan Zat Additive Bestmittel Terhadap Kuat Tekan Beton Penelitian telah dilakukan pada empat buah spesimen dengan kuat tekan 25 MPa. Dari masing-masing variasi spesimen dibuat 3 buah silinder dengan panjang 30 cm dan diameter 15 cm. Adapun campuran beton dengan menggunakan zat Additive Besmittel diuji pada umur 7 hari, 14 hari, 28 hari, dengan variasi 0,2%, 0,4%, 0,6%, masing masing 4 sampel. Sebagai pembanding dibuat benda uji silinder beton normal. Dari hasil penelitian dengan penambahan bahan zat additive bestmittel sebanyak 0,2 %-0,6 % dari berat semen dan air akan menambah Workability, hal ini juga akan merubah nilai slump rencana yaitu 10 cm menjadi rata-rata 13,042 cm. Campuran beton

dengan perbandingan berat 1 Semen : 1,45 Pasir : 2,51 Batu pecah, fas 0.54 dan bahan zat additive bestmittel sebanyak 0,2% - 0,6% dari berat semen dan air menghasilkan kuat tekan rata-rata pada umur 7 hari sebesar 29,124 MPa, pada umur 14 hari sebesar 29,416 MPa dan umur 28 hari sebesar 33,840 MPa. Dengan menambah Zat additive bestmittel kedalam campuran beton akan meningkatkan kuat tekan betonnya, untuk variasi 0,2 %, 0,4 % dan 0,6 % masing-masing meningkat sebesar 1,247 %, 9,038 % dan 6,210 %.

No	Jenis Kegiatan	Oktober				November			
		1	2	3	4	5	6	7	8
2	Persiapan laboratorium								
3	Pengujian bahan dasar								
4	Pembuatan benda uji								
5	Uji kuat tekan beton								
6	Uji kuat tarik beton								
7	Analisa hasil pengujian								

C. Alat dan Bahan Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Alat penelitian

Adapun alat yang akan digunakan pada penelitian ini, yaitu:

a. Saringan

- 1) Saringan dengan nomor berturut-turut 4,75 mm (No. 4), 2,40 mm (No. 8), 1,2 mm (No. 16), 0,60 mm (No. 30), 0,30 mm (No. 50), 0,15 mm (No. 100), No. 200 yang dilengkapi dengan tutup pan dan alat penggetar untuk mengetahui gradasi agregat halus (pasir).
- 2) Saringan dengan nomor berturut-turut 56,25 mm (No.1 ½), 37,50 mm (No. 1), 19,05 mm (No. 3/4), 9,60 mm (No. 3/8), 4,75 mm (No. 4) yang dilengkapi dengan tutup pan dan alat penggetar untuk mengetahui gradasi agregat kasar (kerikil).

b. Oven

Oven digunakan untuk mengeringkan agregat pada pengujian kadar air dan berat jenis.

c. Gelas Ukur

Gelas ukur berfungsi untuk mengukur banyaknya air yang digunakan pada pembuatan beton.

d. Timbangan

Timbangan difungsikan untuk menimbang bahan-bahan benda uji.

e. Cetakan Beton

Cetakan beton yang digunakan adalah cetakan silinder ukuran 150 mm x 300 mm.

f. Concrete mixer / mesin pencampur

Digunakan untuk mencampur semua bahan-bahan benda uji.

g. Piknometer

Piknometer dengan kapasitas 500 gr digunakan untuk mencari berat jenis agregat halus.

h. Jangka sorong

Jangka sorong digunakan untuk mengukur semua dimensi benda uji.

i. Kerucut *abrams*.

Kerucut *abrams* digunakan untuk mengukur kelecakan adukan beton (nilai *slump*).

j. Penggaris

Penggaris digunakan untuk mengukur nilai *slump*.

k. Batang baja

Batang baja digunakan untuk memadatkan adukan beton.

l. *Universal Testing Machine*

Mesin uji tekan digunakan untuk menguji kuat tekan, kuat tarik belah, dan modulus elastisitas benda uji beton.

m. Mesin Los Angeles

Mesin Los Angeles digunakan untuk menguji ketahanan aus agregat yang dilengkapi dengan bola-bola baja.

2. Bahan Penelitian

Adapun bahanyang akan digunakan pada penelitian ini, yaitu:

a. Agregat

Agregat yang digunakan dalam penelitian ini adalah agregat kasar dan agregat halus

b. Semen

Semen yang digunakan dalam penelitian ini adalah Semen Portland.

c. Air

Air yang digunakan dalam penelitian ini air dari Laboratorium Struktur dan Bahan Universitas Muhammadiyah Parepare.

d. Limbah Beton

Limbah beton yang digunakan di dalam penelitian ini diambil dari Laboratorium Struktur dan Bahan Universitas Muhammadiyah Parepare.

e. *Bestmittel*

Bestmittel yang digunakan dalam penelitian ini.

D. Prosedur Standar Penelitian

1. Pemeriksaan Berat Jenis Agregat

Pengujian ini dilakukan guna mengetahui berat jenis agregat serta tingkat penyerapan air. Jumlah berat jenis yang diperiksa adalah untuk agregat dalam keadaan kering, berat kering permukaan (*Saturated Surface Dry*), berat jenis semu (*Apparent*).

Adapun keterangan dari berat jenis yang diperiksa adalah sebagai berikut :

a. Berat jenis kering permukaan (*Bulk Specific Gravity*)

Berat jenis kering permukaan (*Bulk Specific Gravity*) yaitu perbandingan antara berat agregat kering dan berat air yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu tertentu

b. Berat jenis permukaan (SSD)

Berat jenis permukaan (SSD) yaitu perbandingan antara berat agregat kering permukaan jenuh dan berat air yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu tertentu

c. Berat jenis semu (*Apparent Specific Gravity*)

Berat jenis semu (*Apparent Specific Gravity*) yaitu perbandingan antara berat agregat kering permukaan jenuh dan berat air yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu tertentu

d. Penyerapan

Penyerapan adalah persentase berat air yang dapat diserap pori terhadap berat agregat kering.

Adapun prosedur percobaan adalah sebagai berikut :

a. Cuci benda uji untuk menghilangkan debu atau bahan-bahan lain yang melekat pada permukaan

- b. Keringkan benda uji dalam oven pada suhu 105° C sampai berat tetap
- c. Dinginkan benda uji pada suhu kamar selama satu jam, kemudian menimbang dengan ketelitian 0,5 gram (B_k)
- d. Rendam benda uji dalam air pada suhu kamar
- e. Keluarkan benda uji dari dalam air, lap dengan kain penyerap sampai selaput air pada permukaan hilang (SSD), untuk butiran yang besar pengering harus satu persatu
- f. Timbang benda uji kering permukaan jenuh (B_j)
- g. Letakkan benda uji dalam keranjang, guncangkan batunya untuk mengeluarkan udara yang tersekap dan menentukan beratnya dalam air (B_a)
- h. Ukur suhu air untuk penyesuaian perhitungan ke suhu standar (25° C)

Berikut adalah perhitungan yang digunakan dalam menentukan berat jenis agregat :

$$a. \text{ Berat jenis (Bulk Specific Gravity)} = \frac{B_k}{(B_j - B_a)} \dots\dots\dots (3)$$

$$b. \text{ Berat jenis SSD} = \frac{B_k}{(B_j - B_a)} \dots\dots\dots (4)$$

$$c. \text{ Berat jenis semu} = \frac{B_k}{(B_k - B_a)} \dots\dots\dots (5)$$

$$d. \text{ Penyerapan (Arbsorpsi)} = \frac{(B_j - B_k)}{B_k} \times 100 \% \dots\dots\dots (6)$$

Dimana:

B_k = Berat kering oven (gram)

B_j = Berat kering permukaan jenuh (gram)

B_a = Berat kering permukaan jenuh di dalam air (gram)

2. Perkiraan Kadar Agregat

a. Perkiraan kadar agregat kasar

Agregat dengan ukuran nominal maksimum dan gradasi yang sama akan menghasilkan beton dengan sifat pengerjaan yang memuaskan bila sejumlah tertentu volume agregat (kondisi kering oven) dipakai untuk tiap satuan volume beton.

Untuk beton dengan tingkat kemudahan pengerjaan yang lebih baik bila pengecoran dilakukan memakai pompa, atau bila beton harus ditempatkan ke dalam cetakan dengan rapatnya tulangan baja, dapat mengurangi kadar agregat kasar sebesar 10% dari nilai yang ada dalam Tabel 3.2 Namun demikian tetap harus berhati-hati untuk meyakinkan agar hasil-hasil uji *slump*, rasio air-semen atau rasio air-(semen+bahan bersifat semen), dan sifat kekuatan dari beton tetap memenuhi rekomendasi serta memenuhi persyaratan spesifikasi proyek yang bersangkutan.

Adapun tabel 3.2 Volume agregat kasar per satuan volume beton yaitu sebagai berikut:

Tabel 3. 2 Volume agregat kasar per satuan volume beton (Sumber: SNI 7656:2012)

Ukuran nominal agregat maksimum (mm)	Volume agregat kasar kering oven (SSD) per satuan volume beton untuk berbagai modulus kehalusan dari agregat halus			
	2,40	2,60	2,80	3,00
9,5	0,50	0,48	0,46	0,44
12,5	0,59	0,57	0,55	0,53
19	0,66	0,64	0,62	0,60
25	0,71	0,69	0,67	0,65
37,5	0,75	0,73	0,71	0,69
50	0,78	0,76	0,74	0,72

Ukuran nominal agregat maksimum (mm)	Volume agregat kasar kering oven (SSD) per satuan volume beton untuk berbagai modulus kehalusan dari agregat halus			
	2,40	2,60	2,80	3,00
75	0,82	0,80	0,78	0,76
150	0,87	0,85	0,83	0,81

Volume ini dipilih dari hubungan empiris untuk menghasilkan beton dengan sifat pengerjaan untuk pekerjaan konstruksi secara umum. Untuk beton yang lebih kental (keleccakan rendah), seperti untuk konstruksi lapis lantai (*pavement*), nilainya dapat ditambah sekitar 10%.

Untuk menentukan berat agregat kasar yang digunakan dapat menggunakan rumus sebagai berikut :

$$W = V \times SSD \dots\dots\dots(7)$$

Dimana:

W = Berat agregat kasar

V = Volume agregat kasar

SSD = Berat jenis permukaan agregat kasar

b. Perkiraan kadar agregat halus

Prosedur yang dapat digunakan untuk menentukan agregat halus adalah metoda berdasarkan berat atau metoda berdasarkan volume absolut. Bila berat per satuan volume beton dapat dianggap atau diperkirakan dari pengalaman, maka berat agregat halus yang dibutuhkan adalah perbedaan dari berat beton segar dan berat total dari bahan-bahan lainnya. Umumnya, berat satuan dari beton telah diketahui dengan ketelitian cukup dari pengalaman sebelumnya yang memakai bahan-bahan yang sama. Dalam hal informasi semacam ini

tidak diperoleh, Tabel 3.3 dapat digunakan untuk perkiraan awal. Sekalipun bila perkiraan berat beton per m^3 tadi adalah perkiraan cukup kasar, proporsi campuran akan cukup tepat untuk memungkinkan penyesuaian secara mudah berdasarkan campuran percobaan

Tabel 3.3 Perkiraan awal berat beton segar (Sumber: SNI 7656:2012)

Ukuran nominal maksimum agregat (mm)	Perkiraan awal berat beton, kg/m^3	
	Beton tanpa tambahan udara	Beton dengan tambahan udara
9,5	2280	2200
12,5	2310	2230
19	2345	2275
25	2380	2290
37,5	2410	2350
50	2445	2345
75	2490	2405
150	2530	2435

Untuk mendapatkan volume agregat halus yang disyaratkan, satuan volume beton dikurangi jumlah seluruh volume dari bahan-bahan yang diketahui, yaitu air, udara, bahan yang bersifat semen, dan agregat kasar. Volume beton adalah sama dengan berat beton dibagi densitas bahan

E. Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data dilaksanakan dengan menggunakan penelitian kuantitatif dengan melakukan beberapa pengujian terhadap benda uji di laboratorium. Teknik pengumpulan data terdiri atas 3 (tiga) yaitu sebagai berikut:

1. Data Primer

Data yang diperoleh melalui eksperimen di Laboratorium Struktur dan Bahan Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Parepare. Penelitian ini berfokus pada variasi dari substitusi limbah beton dengan bahan tambah *zat additive bestmittel*. Adapun data primer yang diperlukan dibagi 2 (dua) jenis yaitu:

a. Karakteristik bahan

Data yang diperlukan pada karakteristik bahan didapatkan pada pengujian sebagai berikut:

- 1) Karakteristik agregat halus
 - a) Gradasi butiran agregat halus
 - b) Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat halus
 - c) Pemeriksaan berat volume agregat halus
 - d) Pemeriksaan kandungan lumpur
 - e) Pemeriksaan kadar air
 - f) Pemeriksaan zat organik
- 2) Karakteristik agregat kasar
 - a) Gradasi butiran agregat kasar
 - b) Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat kasar
 - c) Pemeriksaan berat volume dalam agregat kasar
 - d) Pemeriksaan kandungan lumpur
 - e) Pemeriksaan kadar air
 - f) Pengujian keausan agregat dengan mesin abrasi los angeles
- 3) Karakteristik agregat limbah jalan rigid
 - a) Gradasi butiran agregat kasar

- b) Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat kasar
 - c) Pemeriksaan berat volume dan rongga udara dalam agregat kasar
 - d) Pemeriksaan kandungan lumpur
 - e) Pemeriksaan kadar air
 - f) Pengujian keausan agregat dengan mesin abrasi los angeles
- 4) Karakteristik semen
- a) Pemeriksaan berat jenis semen
 - b) Konsistensi normal semen portland
 - c) Pengujian waktu mengikat awal dan mengeras semen portland
- b. Karakteristik beton

Data yang diperlukan pada karakteristik beton didapatkan pada pengujian sebagai berikut:

- 1) Kuat tekan selinder
- 2) Kuat tarik belah selinder
- 3) Distribusi agregat kadar dan agregat halus

2. Data sekunder

Data sekunder sebagai pendukung merupakan gambaran pada daerah studi. Pengumpulan data sekunder merupakan pengumpulan data secara tidak langsung dari sumber/objek. Data diperoleh dari tulisan seperti buku teori, buku laporan, peraturan-peraturan, dan dokumen baik yang berasal dari instansi terkait maupun hasil kajian literature.

3. Benda uji

Campuran tanah-semen dan air sebanyak yang direncanakan dan dipadatkan dalam silinder cetakan tertentu. Adapun contoh gambar 3.1 benda uji yang dibuat



Gambar 3. 1 Benda uji selinder 300 mm × 150 mm

Tabel 3. 4 Variasi campuran limbah rigid untuk kuat tekan beton

Kode	Variasi campuran beton	Umur beton (hari)			Tarik belah	Jumlah
		7	14	28		
BN	BN	3	3	3	2	11
BLB0	B + LR 20%	3	3	3	2	11
BLB400	B + LR 20% + BT 0,5%	3	3	3	2	11
Total						33

Keterangan:

BN :Beton Normal

LBR :Limbah Beton Rigid

BM :*Bestmittel*

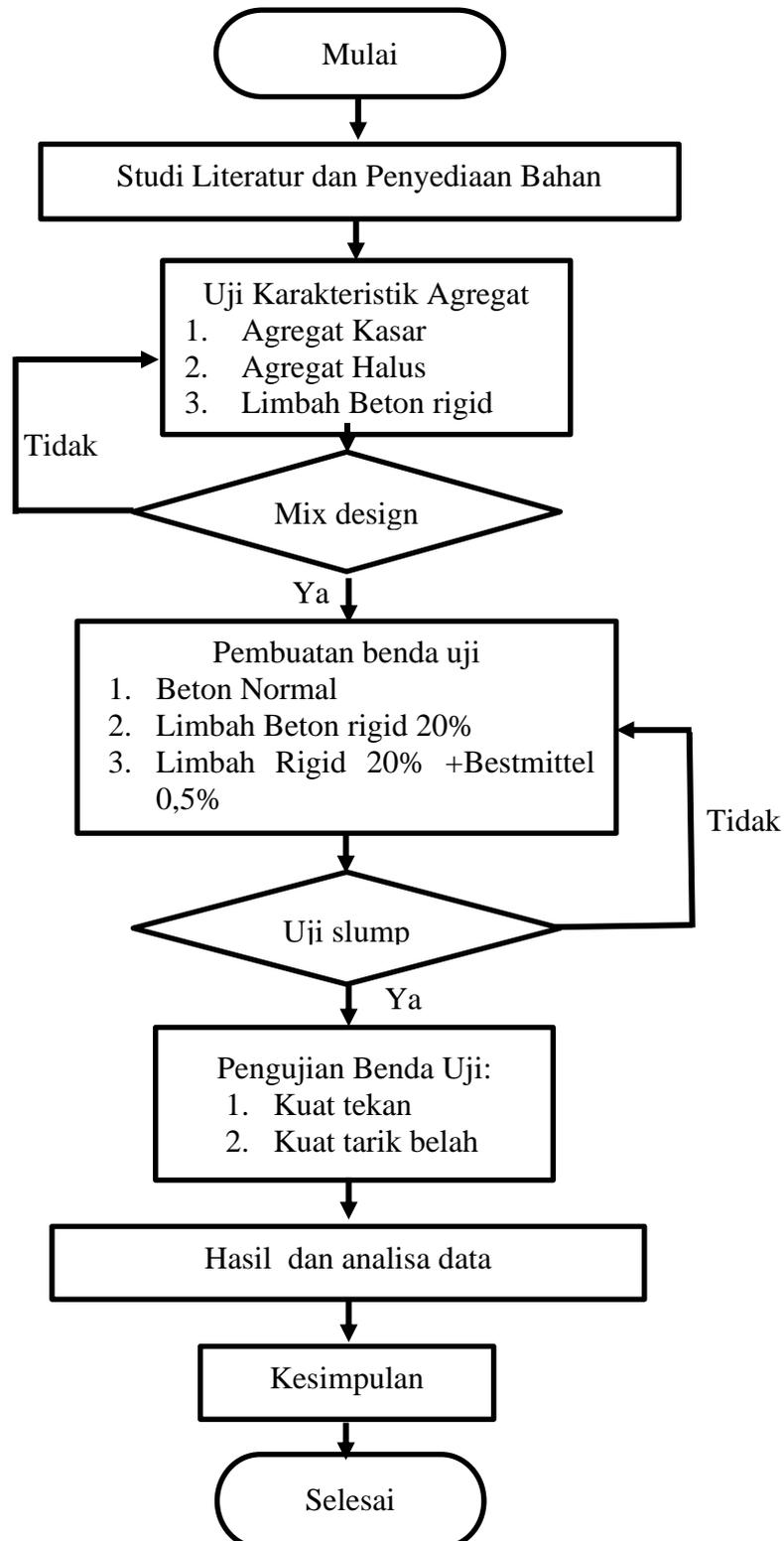
B :Beton

F. Teknik Analisis Data

Teknik analisis data yang dipakai pada penelitian ini menggunakan analisa parametrik deskriptif. Data hasil uji kuat tekan beton diperoleh dari pembagian antara beban maksimum benda uji dengan luas penampang benda uji, selanjutnya data akan disajikan dalam bentuk tabel maupun grafik. Langkah-langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Menimbang berat benda uji sebelum pengujian dilakukan.
2. Meletakkan benda uji pada *Universal Testing Machine*.
3. Menghidupkan *Universal Testing Machine* dan benda uji akan mengalami penambahan beban sehingga dapat dibaca besarnya kekuatan tekan yang ditunjukkan dengan manometer.
4. Benda uji akan retak apabila beban yang diberikan telah mencapai batas maksimum dari beban yang mampu ditahan benda uji. Pada saat retak, jarum manometer akan berhenti pada titik maksimum yang mampu ditahan oleh benda uji.

G. Diagram Alur Penelitian



Gambar 3. 2 Bagan alir penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil pengujian Agregat

Pengujian agregat berdasarkan pada SNI (Standar Nasional Indonesia) dilakukan terhadap agregat kasar, agregat halus dan agregat limbah rigid. Hasil pengujian agregat ditunjukkan pada rekapitulasi dari percobaan-percobaan yang dilakukan di Laboratorium, yaitu sebagai berikut:

1. Agregat Halus

Tabel 4. 1 Rekapitulasi pengujian agregat halus (Sumber: hasil olah laboratorium 2024)

NO.	Karakteristik Agregat	Interval	Hasil Pengamatan		Nilai Rata-Rata	Ket.
			I	II		
1	Kadar lumpur	Maks 5%	4,0%	4,0%	4,00%	Memenuhi
2	Kadar organik	< No. 3	No. 2	No. 2	No. 2	Memenuhi
3	Kadar air	2% - 5%	2,04%	2,88%	2,46%	Memenuhi
4	Berat volume					
	a. Kondisi lepas	1,4- 1,9 kg/liter	1,39	1,46	1,43	Memenuhi
	b. Kondisi padat	1,4 -1,9 kg/liter	1,51	1,50	1,50	Memenuhi
5	Absorpsi	0,2% - 2%	1,21%	1,42%	1,32%	Memenuhi
6	Berat jenis spesifik					
	a. Bj. nyata	1,6 - 3,3	2,56	2,59	2,58	Memenuhi
	b. Bj. dasar kering	1,6 - 3,3	2,48	2,50	2,49	Memenuhi
	c. Bj. kering permukaan	1,6 - 3,3	2,51	2,54	2,53	Memenuhi
7	Modulus kehalusan	1,50 - 3,80	2,95	2,94	2,95	Memenuhi

Dari pengujian agregat halus diatas didapatkan hasil sebagai berikut.

a. Kadar lumpur agregat

Hasil yang didapatkan dari pengujian kadar lumpur agregat halus diatas yaitu 4,00% hasil tersebut sesuai dengan spesifikasi yaitu lebih kecil dari 5% yang menunjukkan bahwa material agregat halus tersebut dapat digunakan untuk campuran beton tanpa melalui proses pencucian terlebih dahulu.

b. Kadar organik agregat

Hasil yang didapatkan dari pengujian kadar organik agregat halus diatas sampel menunjukkan warna kekeruhan di angka No.2 pada standar warna yang menunjukkan bahwa material agregat halus tersebut memiliki tingkat kadar organik terbilang rendah sehingga dapat digunakan dalam campuran beton tanpa perlu dicuci terlebih dahulu.

c. Kadar air agregat

Hasil yang didapatkan dari pengujian kadar air agregat halus di atas yaitu 2,46%, hasil tersebut sesuai dengan spesifikasi yaitu berada diantara interval 2,00%-5,00% yang menandakan bahwa material agregat halus (pasir) tersebut dapat digunakan untuk campuran beton.

d. Berat volume agregat

Hasil yang didapatkan dari pengujian berat volume agregat halus kondisi lepas diatas yaitu 1,43 sedangkan pengujian berat volume agregat halus kondisi padat yaitu 1,50, dari ke 2 (dua) hasil tersebut sesuai dengan spesifikasi yaitu berada diantara interval 1,4-1,9 kg/liter yang menandakan bahwa material agregat halus (pasir) tersebut dapat digunakan untuk campuran beton.

e. Penyerapan air agregat

Hasil yang didapatkan dari pengujian penyerapan air agregat halus di atas yaitu 1,32%, hasil tersebut sesuai dengan spesifikasi yaitu berada diantara interval dari 0,2%-2% yang menandakan bahwa material agregat halus (pasir) tersebut dapat digunakan untuk campuran beton.

f. Berat jenis agregat

Hasil yang didapatkan dari pengujian berat jenis nyata diatas yaitu 2,58, berat jenis kering yaitu 2,49, dan berat jenis kering permukaan yaitu 2,53, dari ke 3 (tiga) hasil tersebut sesuai dengan spesifikasi yaitu berada diantara interval 1,6-3,3 kg/liter yang menandakan bahwa material agregat halus (pasir) tersebut dapat digunakan untuk campuran beton.

g. Modulus kehalusan agregat

Hasil yang didapatkan dari pengujian modulus kehalusan agregat halus diatas yaitu 2,95, hasil tersebut sesuai dengan spesifikasi yaitu berada diantara interval 1,50-3,80 yang menandakan bahwa material agregat halus (pasir) tersebut dapat digunakan untuk campuran beton.

2. Agregat Kasar

Tabel 4. 2 Rekapitulasi hasil pengujian agregat kasar (Sumber: hasil olah laboratorium 2024)

NO.	Karakteristik Agregat	Interval	Hasil Pengamatan		Nilai Rata-Rata	Keterangan
			I	II		
1	Kadar lumpur	Maks 1%	0,9%	0,90%	0,90%	Memenuhi
2	Keausan	Maks 50%	18,7%	16,9%	17,8%	Memenuhi
3	Kadar air	0,5% - 2%	1,94%	1,94%	1,94%	Memenuhi

Lanjutan **Tabel 4.3** Rekapitulasi hasil pengujian agregat kasar

	a. Kondisi lepas	1,6 - 1,9 kg/liter	1,63	1,61	1,62	Memenuhi
	b. Kondisi padat	1,6 - 1,9 kg/liter	1,74	1,74	1,74	Memenuhi
5	Absorpsi	Maks 4 %	0,81%	0,81%	0,81%	Memenuhi
6	Berat jenis spesifik					
	a. Bj. nyata	1,6 - 3,3	2,63	2,63	2,63	Memenuhi
	b. Bj. dasar kering	1,6 - 3,3	2,57	2,57	2,57	Memenuhi
	c. Bj. kering permukaan	1,6 - 3,3	2,59	2,59	2,59	Memenuhi
7	Modulus kehalusan	6,0 - 8,0	6,72	6,72	6,72	Memenuhi

Dari pengujian agregat kasar diatas didapatkan hasil sebagai berikut.

a. Kadar Lumpur

Hasil yang didapatkan dari pengujian kadar lumpur agregat kasar diatas didapatkan hasil 0,90%, hasil tersebut sesuai dengan spesifikasi yaitu lebih kecil dari 1% yang menunjukkan bahwa material agregat kasar tersebut dapat digunakan untuk campuran beton tanpa melalui proses pencucian terlebih dahulu

b. Keausan Agregat

Dari pengujian tingkat keausan agregat kasar menggunakan mesin *Los Angeles* diatas didapatkan hasil 17,8% yang nilainya lebih kecil dari 50% sehingga agregat kasar dapat dijadikan bahan campuran beton.

c. Kadar Air

Dari pengujian kadar air diatas didapatkan hasil 1,94% yang nilainya lebih kecil dari 2 % sehingga agregat kasar dapat digunakan pada campuran beton.

d. Berat Volume

Dari pengujian berat volume rongga agregat kasar didapatkan hasil 1,62 sedangkan pada pengujian berat volume padat didapatkan hasil 1,74 yang keseluruhan nilainya masih dalam interval 1,6 – 1,9 kg/liter sehingga agregat kasar dapat dijadikan bahan campuran beton.

e. Penyerapan Air

Dari pengujian penyerapan air agregat kasar diatas didapatkan hasil 0,81% yang nilainya masih dalam interval maksimum 4 % sehingga agregat kasar dapat dijadikan bahan campuran beton.

f. Berat Jenis

Dari pengujian berat jenis nyata didapatkan hasil 2,63. Berat jenis kering didapatkan nilai sebesar 2,57. Dan untuk berat jenis kering permukaan didapatkan hasil pengujian sebesar 2,59 yang keseluruhan nilainya masih dalam interval 1,6– 3,3 sehingga agregat kasar dapat dijadikan bahan campuran beton.

g. Modulus Kehalusan

Berdasarkan spesifikasi karakteristik agregat kasar SNI, interval untuk modulus kehalusan yaitu berada antara 6,0-8,0. Sedangkan hasil yang diperoleh dari penelitian yaitu 6,72 adalah sesuai dengan spesifikasi. Jadi agregat tersebut dapat digunakan dalam campuran beton.

3. Agregat Limbah Rigid

Tabel 4. 4 Rekapitulasi pengujian agregat limbah Rigid (Sumber: hasil olah laboratorium 2024)

NO	Karakteristik Agregat	Interval	Hasil Pengamatan		Nilai Rata - Rata	Ket
			I	II		
1	Kadar lumpur	Maks 1%	0,80 %	1,00 %	1%	Memenuhi
2	Keausan	Maks 50%	24,2 %	22,0 %	23%	Memenuhi
3	Kadar air	0,5% - 2%	1%	1%	1%	Memenuhi
4	Berat volume					
	a. Kondisi lepas	1,6 - 1,9 kg/liter	1,63	1,63	1,63	Memenuhi
	b. Kondisi padat	1,6 - 1,9 kg/liter	1,89	1,90	1,89	Memenuhi
5	Absorpsi	Maks 4 %	1%	1%	1%	Memenuhi
6	Berat jenis spesifik					
	a. Bj. nyata	1,6 - 3,3	2,34	2,34	2,34	Memenuhi
	b. Bj. dasar kering	1,6 - 3,3	2,29	2,29	2,29	Memenuhi
	c. Bj. kering permukaan	1,6 - 3,3	2,31	2,31	2,31	Memenuhi
7	Modulus kehalusan	6,0 - 8,0	6,83	6,52	6,68	Memenuhi

Dari pengujian agregat limbah beton diatas didapatkan hasil sebagai berikut.

a. Kadar Lumpur

Dari pengujian kadar lumpur agregat kasar diatas didapatkan hasil 1% yang nilainya lebih kecil dari 1 % sehingga agregat limbah beton dapat dijadikan bahan campuran beton.

b. Keausan Agregat

Dari pengujian tingkat keausan agregat kasar menggunakan mesin *Los Angeles* diatas didapatkan hasil 23% yang nilainya lebih kecil dari 50 % sehingga agregat kasar dapat dijadikan bahan campuran beton.

c. Kadar Air

Dari pengujian kadar air diatas didapatkan hasil 1% yang nilainya lebih besar dari 2 % sehingga agregat limbah beton perlu dikeringkan sebelum dapat digunakan pada campuran beton.

d. Berat Volume

Dari pengujian berat volume rongga agregat kasar didapatkan hasil 1,63 sedangkan pada pengujian berat volume padat didapatkan hasil 1,89 yang keseluruhan nilainya masih dalam interval 1,6 – 1,9 kg/liter sehingga agregat kasar dapat dijadikan bahan campuran beton.

e. Penyerapan Air

Dari pengujian penyerapan air agregat kasar diatas didapatkan hasil 1% yang nilainya diatas interval maksimum 4 % sehingga jumlah air yang diperlukan harus diperhitungkan kembali sebelum agregat limbah beton dapat dijadikan bahan campuran beton.

f. Berat Jenis

Dari pengujian berat jenis nyata didapatkan hasil 2,34. Berat jenis kering didapatkan nilai sebesar 2,29. Dan untuk berat jenis kering permukaan didapatkan hasil pengujian sebesar 2,31 yang keseluruhan nilainya masih dalam interval 1,6– 3,3 sehingga agregat kasar dapat dijadikan bahan campuran beton.

g. Modulus Kehalusan

Berdasarkan spesifikasi karakteristik agregat kasar SNI, interval untuk modulus kehalusan yaitu berada antara 6,0-8,0. Sedangkan hasil yang diperoleh dari

penelitian yaitu 6,68 adalah sesuai dengan spesifikasi. Jadi agregat tersebut dapat digunakan dalam campuran beton.

B. Perencanaan Campuran Beton (Mix Design)

Perencanaan campuran beton dihitung menggunakan metode SNI 7656:2012 dengan hasil data sebagai berikut :

Diketahui data material:

Mutu beton	= 25 MPa
<i>Slump</i>	= 75 – 100 mm
Ukuran agregat maksimum	= 20
Berat kering oven agregat kasar	= 1,856
Berat jenis semen tanpa tambahan udara	= 3,08
Modulus kehalusan agregat halus	= 2,95
Berat jenis (SSD) agregat halus	= 2,53
Berat jenis (SSD) agregat kasar	= 2,59
Penyerapan air agregat halus	= 1,32%
Penyerapan air agregat kasar	= 0,81%
Kadar Air agregat halus	= 2,46%
Kadar Air agregat kasar	= 1,94%
Berat Jenis (SSD) limbah beton	= 2,31

Perhitungan Kuat desar rencana:

$$\begin{aligned}
 F_c' &= 25 \text{ MPa} \\
 &= 25 \times 9,81 \\
 &= 245,250 \text{ Kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

1. Margin

Hitung kuat tekan rata-rata beton, dengan kuat tekan rata-rata rang disyaratkan dan nilai margin tergantung dari tingkat pengawasang mutu.

Nilai margin (m) ditetapkan dengan menggunakan rumu:

$$Maergin = 1,64 \times Sd$$

Tabel 4.5 Tabel nilai deviasi (kg/cm²) untuk berbagai volume pekerjaan dan mutu pelaksanaan di lapangan (Sumber: SNI 03-2834-2000)

Volume pekerjaan		Mutu pelaksanaan		
Klasifikasi	m ³	Baik sekali	Baik	Cukup
Kecil	<.1000	45 < s ≤ 55	55 < s ≤ 65	65 < s ≤ 85
Sedang	1000-3000	35 < s ≤ 45	45 < s ≤ 55	55 < s ≤ 75
Besar	>3000	25 < s ≤ 35	35 < s ≤ 45	45 < s ≤ 65

Standar deviasi (Sd) = 60

$$\begin{aligned} \text{Margin} &= 1,64 \times Sd \\ &= 1,64 \times 60 \\ &= 98,4 \quad \text{Kg/cm}^2 \end{aligned}$$

2. Kuat beton rencana (fcr)

$$\begin{aligned} fcr &= fc' + m = fc' + m = fc' + m \\ &= fc' + (1,64 \times Sd) \\ &= 245,250 + 98,4 + 98,4 \\ &= 5 \quad \text{Kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} fcr &= \frac{fcr}{g} = fcr/g = fcr/g \\ &= \frac{343,65}{9,81} \\ &= 35,03 \quad \text{MPa} \end{aligned}$$

3. Volume air yang diperlukan tiap m³ adukan beton

Adapun tabel volume air yang diperlukan tiap m³ adukan beton

Tabel 4.6 Volume air yang diperlukan tiap m³ adukan beton untuk berbagai nilai *slump* dan ukuran agregat maksimum (Sumber: SNI 7656:2012).

Air (kg/m ³) untuk ukuran nominal agregat maksimum batu pecah								
Slump (mm)	9,5 mm*	12,7 mm*	19 mm*	25 mm*	37,5 mm*	50 mm ^{†*}	75 mm ^{††}	150 mm ^{††}
Beton tanpa tambahan udara								
25-50	207	199	190	179	166	154	130	113
75-100	228	216	205	193	181	169	145	124
150-175	243	228	216	202	190	178	160	-
> 175*	-	-	-	-	-	-	-	-
banyaknya udara dalam beton (%)	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,3	0,2
Beton dengan tambahan udara								
25-50	181	175	168	160	150	142	122	107
75-100	202	193	184	175	165	157	133	119
150-175	216	205	197	184	174	166	154	-
> 175*	-	-	-	-	-	-	-	-
Jumlah kadar udara yang disarankan untuk tingkat paparan sebagai berikut : ringan (%)								
	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5 ^{**††}	1,0 ^{**††}
sedang (%)	6,0	5,5	5,0	4,5	4,5	4,0	3,5 ^{**††}	3,0 ^{**††}
berat ^{††} (%)	7,5	7,0	6,0	6,0	5,5	5,0	4,5 ^{**††}	4,0 ^{**††}

Bila ditabel tidak ditemukan data maka dilakukan perhitungan interpolasi berdasarkan ukuran agregat maksimum dan nilai *slump* dengan ukuran agregat maksimum yaitu 20 yang berada diantara 19-25 mm

Rumus interpolasi:

$$x = x_1 + \frac{(y-y_1)}{y_2-y_1}(x_2 - x_1)$$

a. Kebutuhan air

Diketahui:

$$X = ?$$

$$Y = 20$$

$$X_1 = 193$$

$$Y_1 = 25$$

$$X_2 = 205$$

$$Y_2 = 19$$

b. Kadar udara

Diketahui:

$$X = ? \qquad Y = 20$$

$$X1 = 1,5\% \qquad Y1 = 25$$

$$X2 = 2\% \qquad Y2 = 19$$

Air			Udara	
25,0	193,0	dari tabel	25,0	1,5%
20,0	?		20,0	?
19,0	205,0	dari tabel	19,0	2%
x =	203,0	kg	x =	1,9%

$$\begin{aligned} x \text{ (air)} &= 193 + \frac{(20 - 25)}{19 - 25} (205 - 193) \\ &= 203 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x \text{ (udara)} &= 1,5\% + \frac{(20 - 25)}{19 - 25} (2\% - 1,5\%) \\ &= 1,9 \text{ \%} \end{aligned}$$

4. Penentuan faktor air semen (FAS)

Tabel 4.7 Faktor air semen (ltr/kg semen) untuk berbagai jenis konstruksi dan keadaan cuaca (Sumber: SNI 7656:2012).

Kekuatan beton umur 28 hari, MPa*	Rasio air-semen (berat)	
	Beton tanpa tambahan udara	Beton dengan tambahan udara
40	0,42	-
35	0,47	0,39
30	0,54	0,45
25	0,61	0,52
20	0,69	0,60
15	0,79	0,70

Diketahui:

$$X = ?$$

$$Y = 35,03$$

$$X1 = 0,42$$

$$Y1 = 40$$

$$X2 = 0,47$$

$$Y2 = 35$$

FAS

40	0,42
35,03	?
35	0,47
x=	0,469

$$\begin{aligned} x (FAS) &= 0,42 + \frac{(35,03 - 40)}{35 - 40} (0,47 - 0,42) \\ &= 0,469 \quad \text{Kg} \end{aligned}$$

5. Berat semen tiap 1 m³ beton

$$W \text{ air} = 203 \text{ Kg}$$

$$\begin{aligned} W \text{ semen} &= \frac{W \text{ air}}{FAS} = \frac{203}{0,469} = 432,835 \text{ kg/m}^3 \\ &= \frac{w \text{ Semen}}{1000} = \frac{432,835}{1000} = 0,433 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\text{Vol. semen} = \frac{W \text{ semen (ton)}}{\text{Berat jenis semen}} = \frac{0,41178429}{3,08} = 0,140 \text{ m}^3$$

6. Berat kerikil tiap 1 m³ beton

Tabel 4.8 Volume agregat tiap satuan volume adukan beton (Sumber: SNI 7656:2012).

Ukuran nominal agregat maksimum (mm)	Volume agregat kasar kering oven* per satuan volume beton untuk berbagai modulus kehalusan† dari agregat halus			
	2,40	2,60	2,80	3,00
9,5	0,50	0,48	0,46	0,44
12,5	0,59	0,57	0,55	0,53
19	0,66	0,64	0,62	0,60
25	0,71	0,69	0,67	0,65
37,5	0,75	0,73	0,71	0,69
50	0,78	0,76	0,74	0,72
75	0,82	0,80	0,78	0,76
150	0,87	0,85	0,83	0,81

a. Kerikil A

Diketahui:

$$X = ? \qquad Y = 20$$

$$X_1 = 0,62 \qquad Y_1 = 19$$

$$X_2 = 0,67 \qquad Y_2 = 25$$

b. Kerikil B

Diketahui:

$$X = ? \qquad Y = 20$$

$$X_1 = 0,60 \qquad Y_1 = 19$$

$$X_2 = 0,65 \qquad Y_2 = 25$$

c. Kerikil A dan B

Diketahui:

$$X = ? \qquad Y = 2,95$$

$$X_1 = 0,608 \qquad Y_1 = 3,00$$

$$X_2 = 0,620 \qquad Y_2 = 2,80$$

A		B		A dan B	
19	0,62	19	0,60	3,00	0,608
20	?	20	?	2,95	?
25	0,67	25	0,65	2,80	0,620
x=	0,628	x=	0,608	x=	0,611

$$\begin{aligned}
 x \text{ (kerikil A)} &= 0,62 + \frac{(20-19)}{25-19} (0,67 - 0,62) \\
 &= 0,628 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 x \text{ (kerikil B)} &= 0,60 + \frac{(20-19)}{25-19} (0,65 - 0,60) \\
 &= 0,608 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 x \text{ (kerikil AB)} &= 0,608 + \frac{(2,95 - 3,0)}{2,80 - 3,0} (0,620 - 0,608) \\
 &= 0,611 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

$$\text{Berat kering oven (SSD)} = 1,856$$

$$\begin{aligned}
 \text{W Kerikil} &= \text{Volume} \times \text{SSD} \\
 &= 0,611 \times 1,856 = 1,135 \text{ ton} \\
 &= \text{W Kerikil} \times 1000 \\
 &= 1,135 \times 1000 = 1135 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\text{V Kerikil} = \frac{\text{Berat kerikil}}{\text{Berat jenis kerikil}} = \frac{1,856}{2,69} = 0,422 \text{ m}^3$$

7. Berat absolute pasir 1 m³ beton

$$\begin{aligned}
 \text{Vol. Air} &= 203 \text{ kg} \\
 &= \frac{\text{Berat Air}}{\text{Bj. Air}} \\
 &= \frac{203 \text{ kg}}{1000 \text{ kg/m}^3} = 0,203 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

$$\text{Vol. padat semen} = 432 \text{ kg}$$

$$= \frac{\text{Berat semen}}{\text{BJ Semen} \times 1000}$$

$$= \frac{432}{3,08 \times 1000} = 0,140 \text{ m}^3$$

$$\text{Vol. absolute Ag. Kasar} = 1065 \text{ kg}$$

$$= \frac{\text{Berat Ag.kasar}}{\text{BJ Ag.kasar} \times 1000}$$

$$= \frac{1065}{2,69 \times 1000} = 0,411 \text{ m}^3$$

$$\text{Vol. udara terperangkap} = 1,9\%$$

$$= 1 \text{ m}^3 \times 1,9\% = 0,019 \text{ m}^3$$

Jumlah Vol. padat selain Ag. Halus

$$\begin{aligned} \text{Vtot} &= \text{Vol. air} + \text{vol. semen} + \text{vol. ag. Kasar} + \text{vol. udara} \\ &= 0,203 + 0,140 + 0,411 + 0,019 \\ &= 0,773 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Vol. Ag. Halus

$$\begin{aligned} &= 1 - \text{Vol. total} \\ &= 1 - 0,773 \\ &= 0,227 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Berat Ag halus kering

$$\begin{aligned} &= \text{Vol. Ag. Halus} \times (\text{BJ Ag. Halus} \times 1000) \\ &= 0,227 \times (2,56 \times 1000) \\ &= 572,3 \text{ kg} \end{aligned}$$

8. Perkiraan berat pasir tiap 1 m³ beton

Ukuran nominal maksimum agregat (mm)	Perkiraan awal berat beton, kg/m ³ *	
	Beton tanpa tambahan udara	Beton dengan tambahan udara
9,5	2280	2200
12,5	2310	2230
19	2345	2275
25	2380	2290
37,5	2410	2350
50	2445	2345
75	2490	2405
150	2530	2435

Diketahui:

$$X = ? \qquad Y = 20$$

$$X1 = 2380 \qquad Y1 = 25$$

$$X2 = 2345 \qquad Y2 = 19$$

Berat Beton 1 m³

25	2380
20	?
19	2345
x=	2350

$$\begin{aligned}
 x (\text{beton}) &= 2380 + \frac{(20 - 25)}{19 - 25} (2345 - 2380) \\
 &= 2350 \quad \text{Kg}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan data diatas maka perkiraan berat beton adalah 2350

Sehingga :

$$\text{Air (Berat bersih)} = 203$$

$$\text{Semen} = 432$$

$$\text{Agregat kasar} = 1065 +$$

$$\text{Jumlah} = 1700$$

$$\text{Maka berat Ag. Halus adalah} = 2350 - 1700$$

$$= 650 \quad \text{kg}$$

9. Koreksi terhadap kadar air

CATATAN : Pengujian kadar air terhadap material dilakukan sebelum hendak melakukan proses pencampuran untuk pengujian kadar air bisa dilihat pada SNI 03-1971-1990

Kadar air didapat :

$$\text{Ag. Kasar} = 1,94\%$$

$$\text{Ag. Halus} = 2,46\%$$

Sehingga berat (massa) penyesuaian berdasarkan kadar air adalah

$$\begin{aligned} \text{Ag. Kasar (Basah)} &= \text{Ag. Kasar (Basah)} \times \text{Kadar Air Ag. Kasar} \\ &= 1065 \times 1,94\% \\ &= 20,62 \quad \text{Kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ag. Halus (Basah)} &= 649 \times 2,46\% \\ &= 15,98 \quad \text{Kg} \end{aligned}$$

Air yang diserap tidak menjadi bagian dari air pencampuran dan harus dikeluarkan dari penyesuaian dalam air yang ditambahkan Maka :

$$\begin{aligned} \text{Air yang diberikan Ag. Kasar} &= \text{penyerapan air Ag. Kasar} \times \text{Ag. Kasar (Basah)} \\ &= 1,32\% \quad \times \quad 1065,034 \\ &= 14,628 \quad \text{Kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Air yang diberikan Ag. Halus} &= \text{penyerapan air Ag. Halus} \times \text{Ag. Halus (Basah)} \\ &= 0,81\% \quad \times \quad 649,769 \\ &= 5,240 \quad \text{Kg} \end{aligned}$$

Dengan demikian kebutuhan air yang ditambahkan adalah sebagai berikut

$$\text{Air}_{\text{koreksi}} = \text{Air} - \text{Tot berat massa} + \text{Tot. penyerapan air}$$

$$= 203,0 - 36,617 + 19,269$$

$$= 185,652 \text{ kg}$$

Maka perkiraan 1 m³ beton adalah sebagai berikut

Air koreksi = 185,652 kg

Semen = $\frac{\text{Air}}{\text{FAS}} = \frac{185,652}{0,469} = 395,26 \text{ kg}$

Ag. Kasar = Berat ag. Kasar + berat kadar air ag. Kasar – berat penyerapan
ag. Kasar

$$= 1065,034 + 20,628 - 14,029$$

$$= 1071,633 \text{ kg}$$

Ag. Halus = berat ag. halus + berat kadar air ag. halus – berat penyerapan ag.
halus

$$= 649,769 + 15,989 - 5,240$$

$$= 660,518 \text{ kg}$$

Jumlah = Air + semen + ag,kasar + ag. halus

$$= 185,652 + 395,26 + 1071,633 + 660,518$$

$$= 2313,066 \text{ kg}$$

10. Kebutuhan campuran bahan untuk 1 m³ beton

	Berdasarkan Koreksi Terhadap Kadar Air (Kg)	Berdasarkan Perkiraan Massa Beton (Kg)	Berdasarkan Volume Absolute (Kg)
Air (berat bersih)	185,7	203,0	203,0
Semen	395,3	432,2	432,2
Ag. Kasar (kering)	1071,6	1065,0	1065,0
Ag. Halus (kering)	660,5	649,8	572,3

Perbandingan berat = W semen : W pasir : W kerikil : W air

1	1,32	2,46	0,47
---	------	------	------

11. Kebutuhan Bahan Pembuatan Benda Uji Silinder Beton :

Kebutuhan beton 1 silinder

$$\text{Diameter (d)} = 0.15 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi (h)} = 0.3 \text{ m}$$

$$\text{Volume 1 silinder} = \frac{1}{4} \pi d^2 h$$

$$= \frac{1}{4} 3,14 \times 0,15^2 \times 0,30$$

$$= 0.0053014 \text{ m}^3$$

Volume total silinder = Volume 1 silinder \times Jumlah beton silinder

$$= 0,0053014 \text{ m}^3 \times 11$$

$$= 0.0583158 \text{ m}^3$$

Agar tidak terjadi kekurangan bahan maka diperlukan penambahan volume silinder sebesar 15 %

Volume tambahan = vol. 11 silinder \times 15%

$$= 0.0583158 \text{ m}^3 \times 15\%$$

$$= 0.0087473 \text{ m}^3$$

Vol. total = Vol. total silinder + Vol. Tambahan

$$= 0.0583158 \text{ m}^3 + 0.0087473 \text{ m}^3$$

$$= 0,0670631 \text{ m}^3$$

Kebutuhan bahan untuk 11 silinder beton

	Berdasarkan Koreksi Terhadap Kadar Air (Kg)	Berdasarkan Perkiraan Massa Beton (Kg)	Berdasarkan Volume Absolute (Kg)
W semen	26,51 kg	28,98 kg	28,98 kg
W pasir	44,30 kg	43,58 kg	38,38 kg
W kerikil	71,87 kg	71,42 kg	71,42 kg
W air	12,45 kg	13,61 kg	13,61 kg

12. Kebutuhan Limbah Beton Dan *Bestmittel* Perbenda Uji :

a. Kebutuhan beton 1 silinder

$$\text{Diameter (d)} = 0.15 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi (h)} = 0.3 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume 1 silinder} &= \frac{1}{4}\pi d^2 h \\ &= \frac{1}{4}3,14 \times 0,15^2 \times 0,30 \\ &= 0.0053014 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Agar tidak terjadi kekurangan bahan maka diperlukan penambahan volume silinder sebesar 15 %

$$\begin{aligned} \text{Volume tambahan} &= \text{vol.1 silinder} \times 15\% \\ &= 0.0053014 \text{ m}^3 \times 15\% \\ &= 0.000795 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Vol. total 1 silinder} &= \text{Vol. 1 silinder} + \text{Vol. Tambahan} \\ &= 0.0053014 \text{ m}^3 + 0.000795 \text{ m}^3 \\ &= 0.006096 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Kebutuhan bahan untuk beton normal

	Kebutuhan Persatu Kubik Beton	Kebutuhan Persatu Selinder Beton	Kebutuhan 11 Selinder
W semen	432,20 kg	2,63 kg	28,98 kg
W pasir	649,77 kg	3,96 kg	43,58 kg
W kerikil	1065,03 kg	6,49 kg	71,42 kg
W air	203,00 kg	1,24 kg	13,61 kg

b. Untuk variasi limbah rigid

kebutuhan volume limbah beton =

Vol. limbah beton = Vol. kerikil \times 20%

$$= 0.411 \times 20\%$$

$$= 0.082 \quad \text{m}^3$$

Vol. kerikil tersisa = Vol. kerikil – vol. Limbah beton

$$= 0.411 \text{ m}^3 - 0.082 \text{ m}^3$$

$$= 0.329 \quad \text{m}^3$$

Berat limbah beton = Vol. limbah beton \times BJ limbah beton

$$= 0,082 \text{ m}^3 \times 2310.54 \text{ kg/m}^3$$

$$= 189,875 \quad \text{Kg}$$

Berat kerikil = Vol. kerikil \times BJ kerikil

$$= 0.329 \text{ m}^3 \times 2592.02 \text{ kg/m}^3$$

$$= 852,028 \quad \text{Kg}$$

Kebutuhan bahan untuk variasi 20% limbah rigid

	Kebutuhan Persatu Kubik Beton	Kebutuhan Persatu Selinder Beton	Kebutuhan 11 Selinder
W semen	432,20 kg	2,63 kg	28,98 kg
W pasir	572,29 kg	3,49 kg	38,38 kg
W kerikil	852,03 kg	5,19 kg	57,14 kg

Lanjutan

W limbah beton	189,88	kg	1,16	kg	12,73	kg
W air	203,00	kg	1,24	kg	13,61	kg

c. Untuk variasi limbah rigid 20% dan 0,5% bestmittel

1) Kebutuhan volume limbah beton =

$$\begin{aligned} \text{Vol. limbah beton} &= \text{Vol. kerikil} \times 20\% \\ &= 0.411 \times 20\% \\ &= 0.082 \quad \text{m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Vol. kerikil tersisa} &= \text{Vol. kerikil} - \text{vol. Limbah beton} \\ &= 0.411 \text{ m}^3 - 0.082 \text{ m}^3 \\ &= 0.329 \quad \text{m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat limbah beton} &= \text{Vol. limbah beton} \times \text{BJ limbah beton} \\ &= 0,082 \text{ m}^3 \times 2310.54 \text{ kg/m}^3 \\ &= 189,875 \quad \text{Kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat kerikil} &= \text{Vol. kerikil} \times \text{BJ kerikil} \\ &= 0.329 \text{ m}^3 \times 2592.02 \text{ kg/m}^3 \\ &= 852,028 \quad \text{Kg} \end{aligned}$$

2) Kebutuhan *bestmittel*

$$\begin{aligned} \text{Banyak nya } \textit{bestmittel} &= \frac{\text{Kebutuhan } \textit{bestmittel}}{1 \text{ zak semen (40 kg)}} \\ &= \frac{0,5\% \text{ ml}}{40 \text{ kg}} \\ &= 2,161 \quad \text{ml/kg} \end{aligned}$$

3) Kebutuhan air

$$\text{Berat air} = 75\% \text{ dari total kebutuhan air}$$

$$= 203 \times 90\%$$

$$= 182,7 \quad \text{kg}$$

Kebutuhan bahan untuk variasi 20% limbah rigid dan 0,5% bestmittel

	Kebutuhan Persatu Kubik Beton	Kebutuhan Persatu Selinder Beton	Kebutuhan 11 Selinder
W semen	432,20 kg	2,63 kg	28,98 kg
W pasir	572,29 kg	3,49 kg	38,38 kg
W kerikil	852,03 kg	5,19 kg	57,14 kg
W limbah beton	189,88 kg	1,16 kg	12,73 kg
W air	182,70 kg	1,11 kg	12,25 kg
W <i>bestmittel</i>	2,16 l	0,013 l	0,145 l

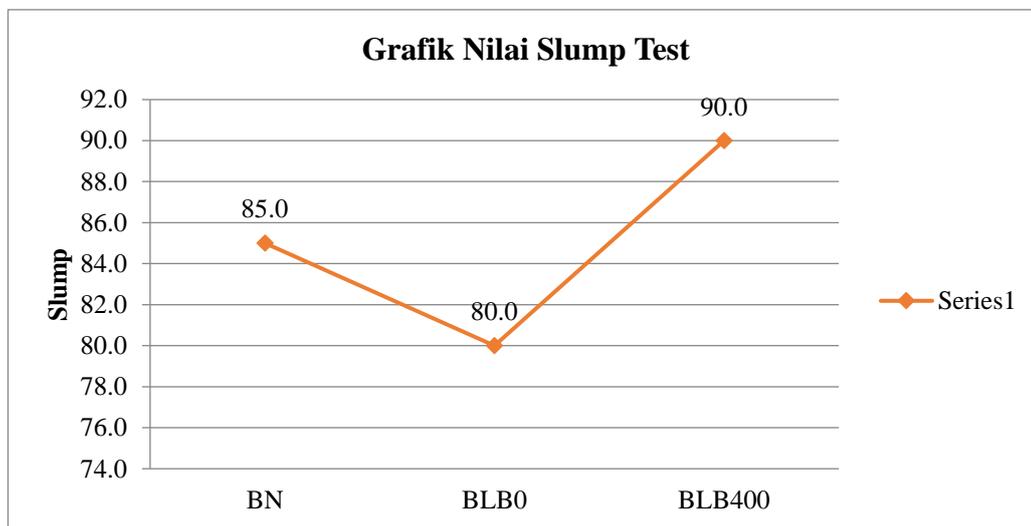
C. Nilai slump

Pengujian nilai *Slump test* dilakukan dengan menggunakan kerucut *abrams*, dengan membasahi kerucut *abrams* terlebih dahulu kemudian menempatkannya ditempat yang rata. Kemudian diisi dengan beton segar sebanyak 3 lapis, setiap lapisan diisi 1/3 dari volume kerucut *abrams* dan ditusuk sebanyak 25 kali dan penusukan dilakukan hingga mencapai bagian bawah dari setiap lapisan setelah pengisian kerucut selesai bagian atasnya diratakan. Dalam waktu sekitar 30 detik kerucut diangkat lurus vertikal secara perlahan, kemudian tentukan nilai *slump* dengan cara mengukur tinggi campuran selisih dengan tinggi kerucut.

Tabel 4. 9 Hasil pengujian nilai *Slump test* (Sumber: hasil olah laboratorium 2024)

NO	Variasi Campuran Beton	Waktu Campur (Menit)	<i>Slump</i> Rencana (Mm)	<i>Slump</i> Rata- Rata Lapangan (Mm)
1	BN	± 10	75 – 100	85.0
2	BLR _{20%}			80.0
3	BLR _{20%} + BT _{0,5%}			90.0

Berdasarkan table 4.8 diatas memberikan penjelasan tentang perbandingan nilai *Slump test* antara masing-masing variasi. Dimana pada beton normal dan penambahan limbah beton didapatkan nilai *slump test* yang menhetahui *slump* rencana, sedangkan pada penggunaan *bestmittel* nilai *slump test* mengalami penurunan. Hal ini dikarenakan penambahan *bestmittel* dalam campran yang termasuk zat *additive (water reducer)* sehingga meningkatkan tingkat *workability* campuran.



Gambar 4. 1 Perbandingan nilai slump pada setiap variasi (Sumber: hasil olah laboratorium 2024)

Dari gambar 4.1 tampak bahwa untuk kondisi tanpa *additive* substitusi 20% agregat kasar limbah rigid menyebabkan penurunan *workability*, hal ini dikarenakan limbah rigid memiliki tekstur permukaan yang tidak beraturan dan berongga sehingga pada saat dilakukan pencampuran, rongga pada limbah rigid saling mengisi atau saling mengikat sehingga nilai *slump* atau *workability* campuran beton berkurang.

Sedangkan ketika ditambahkan *bestmittel* dalam campuran nilai *slump* naik seiring bertambahnya additive, hal ini dikarenakan sifat dari *bestmittel* menyebabkan permukaan agregat dalam campuran beton lebih licin.

D. Kuat Tekan

Setelah melakukan pembuatan dan perawatan benda uji, selanjutnya dilakukan pengujian kuat tekan benda uji tersebut. Pengujian kuat tekan dilakukan pada saat benda uji berumur 7 hari, 14 hari dan 28 hari dengan sebanyak 11 sampel yang terdiri dari 3 variasi campuran yaitu beton normal, limbah rigid 20% limbah rigid 20%+*bestmittel* 0,5%. Untuk masing-masing variasi campuran dibuat 3 sampel untuk kuat tekan silindr dengan ukuran benda uji 150 x 300 mm. sebelum melakukan uji kuat tekan beton maka terlebih dahulu melakukan penimbangan benda uji untuk setiap variasi yang akan dijadikan sampel uji.

Adapun hasil dari pengujian kuat tekan yang terdiri dari beton normal, limbah rigid 20%, limbah rigid 20%+*bestmittel* 0,5% dengan 3 hari perawatan yaitu sebagai berikut :

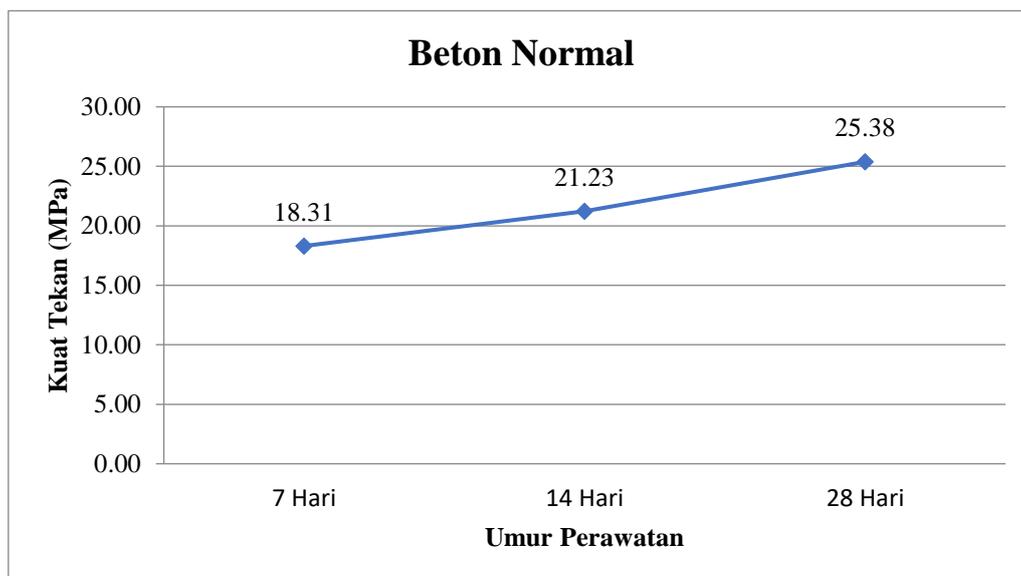
1. Beton normal

Berdasarkan hasil penelitian, kuat tekan rata-rata pada beton normal yang didapat pada pengujian 7, 14 dan 28 hari ialah sebagai berikut:

Tabel 4. 10 rekap hasil kuat tekan beton normal (Sumber: hasil olah laboratorium 2024)

No.	Umur	Berat (Kg)	Beban (Kn)	Kuat Tekan f'c (MPa)
1	7 Hari	12.242	323.33	18.31
2	14 Hari	12.317	431.67	21.23
3	28 Hari	12.325	448.33	25.38

Pada pengujian sampel uji dengan beton normal dengan silinder ukuran 15 x 30 cm dengan jumlah sampel 3 buah didapat kuat tekan dengan rata-rata 18,31 MPa untuk umur 7 hari, 21,23 MPa untuk umur 14 hari, dan 25,38 MPa untuk umur 28 hari, memenuhi kuat tekan yang diinginkan dengan grafik sebagai berikut:



Gambar 4. 2 Grafik pengujian kuat tekan beton normal (Sumber: hasil olah laboratorium 2024)

Pada grafik diatas dapat dijelaskan bahwa beton normal mengalami peningkatan kuat tekan dari umur 7 hari ke umur 14 hari sebesar 2,92 MPa atau sedangkan untuk umur 14 hari ke 28 hari mengalami peningkatan kuat tekan sebesar 4,15 MPa.

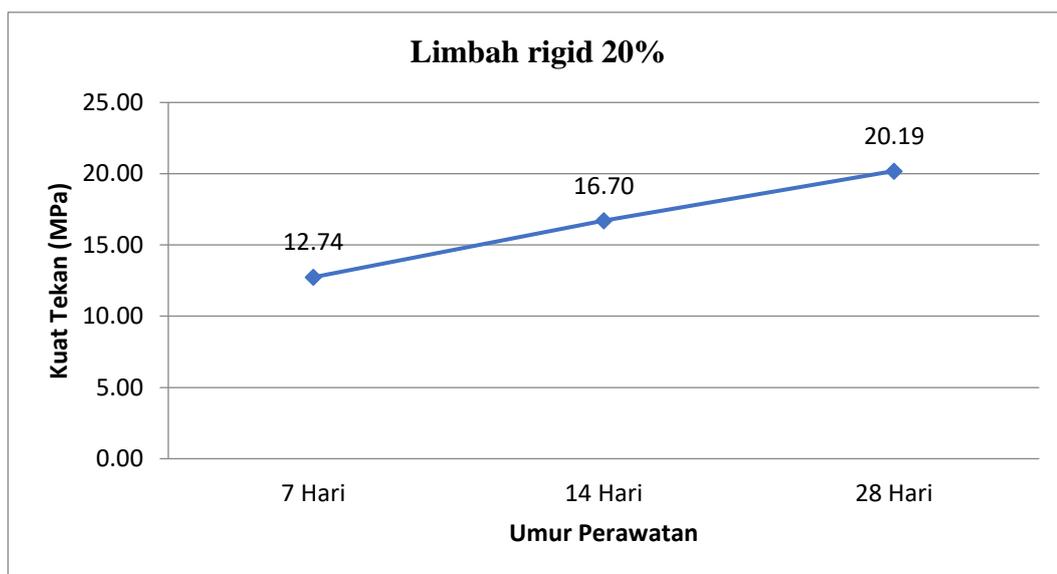
2. Limbah rigid 20%

Berdasarkan hasil penelitian, kuat tekan rata-rata pada rigid 20% limbah beton yang didapat pada pengujian 7, 14 dan 28 hari ialah sebagai berikut:

Tabel 4. 11 Rekap hasil kuat tekan beton variasi 20% limbah rigid (Sumber: hasil olah laboratorium 2024)

No.	Umur	Berat (Kg)	Beban (Kn)	Kuat Tekan f_c (MPa)
1	7 Hari	12.143	225.00	12.74
2	14 Hari	12.155	295.00	16.70
3	28 Hari	12.218	356.67	20.19

Pada pengujian sampel uji dengan 20% Limbah beton dengan ukuran 15 x 30 cm dengan jumlah sampel 3 buah didapat kuat tekan dengan rata-rata 12,74 MPa untuk umur 7 hari, 16,70 MPa untuk umur 14 hari, dan 20,19 MPa untuk umur 28 hari, tidak memenuhi kuat tekan yang direncanakan dengan grafik sebagai berikut:



Gambar 4. 3 Grafik pengujian kuat tekan variasi 20% (Sumber: hasil olah laboratorium 2024)

Pada grafik diatas dapat dijelaskan bahwa beton dengan 20% limbah rigid mengalami peningkatan kuat tekan dari umur 7 hari ke umur 14 hari sebesar 3,96 MPa atau 6,08% sedangkan untuk umur 14 hari ke 28 hari mengalami peningkatan kuat tekan sebesar 3,49 MPa 15%.

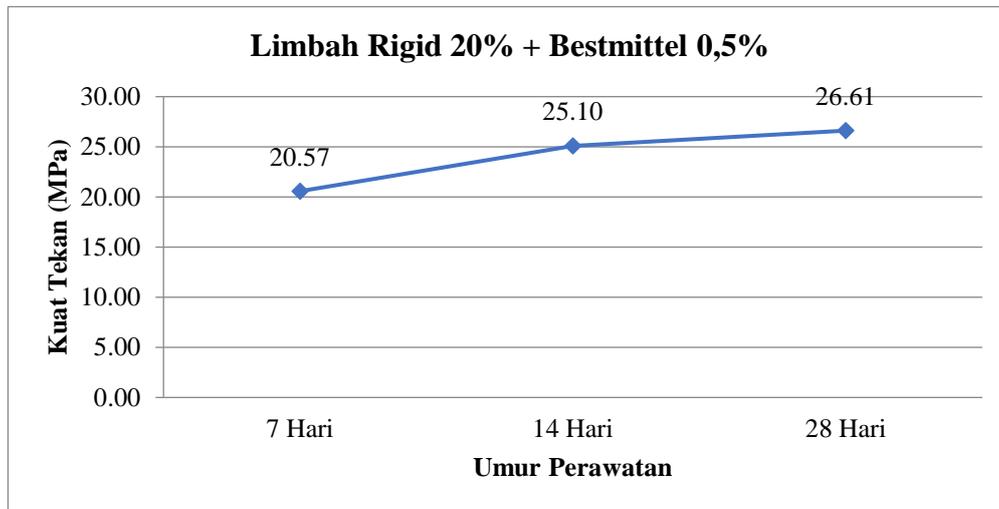
3. Limbah rigid 20% + bestmittel 0,5%

Berdasarkan hasil penelitian, kuat tekan rata-rata pada Limbah rigid 20% + *bestmittel* 0,5% yang didapat pada pengujian 7, 14 dan 28 hari ialah sebagai berikut:

Tabel 4. 12 Rekap hasil kuat tekan beton Limbah rigid 20% + *bestmittel* 0,5%
(Sumber: hasil olah laboratorium 2024)

No.	Umur	Berat (Kg)	Beban (Kn)	Kuat Tekan f'c (MPa)
1	7 Hari	12.297	241.66	20.57
2	14 Hari	12.298	316.66	25.10
3	28 Hari	12.163	463.33	26.61

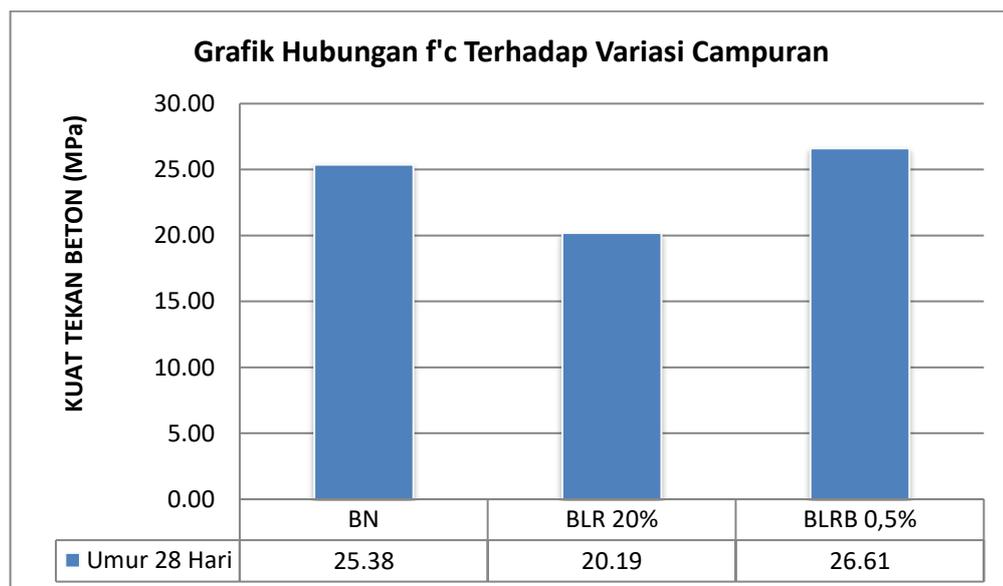
Pada pengujian sampel uji dengan Limbah beton 20% + *bestmittel* 0,5% dengan ukuran 15 x 30 cm dengan jumlah sampel 3 buah didapat kuat tekan dengan rata-rata 20,57 MPa untuk umur 7 hari, 25,10 MPa untuk umur 14 hari dan 26,61 MPa untuk umur 28 hari, dimana telah memenuhi kuat tekan yang direncanakan dengan grafik sebagai berikut:



Gambar 4. 4 Grafik pengujian kuat tekan Limbah Rigid 20% + bestmittel 0,5% (Sumber: hasil olah laboratorium 2024)

Pada grafik diatas dapat dijelaskan bahwa Limbah beton 20% + *bestmittel* 0,5% mengalami peningkatan kuat tekan dari umur 7 hari ke umur 14 hari sebesar 4,53 MPa sedangkan untuk umur 14 hari ke 28 hari mengalami peningkatan kuat tekan sebesar 1,51 MPa.

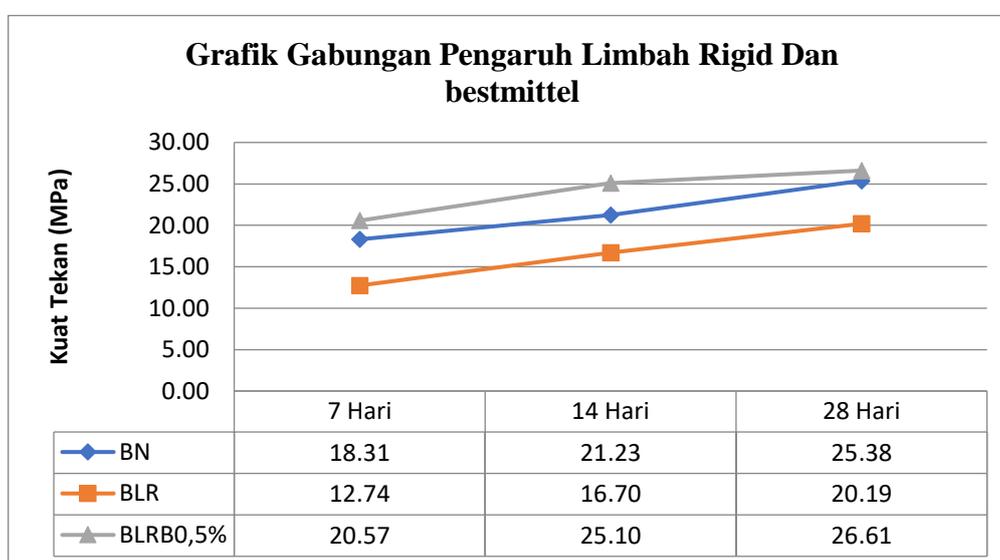
Berikut adalah grafik hubungan $f'c$ terhadap variasi campuran umur 28 hari



Gambar 4. 5 Grafik Hubungan $F'c$ Terhadap Variasi Campuran Umur 28 Hari (Sumber: hasil olah laboratorium 2024)

Variasi 20% agregat kasar dan limbah rigid mengalami penurunan capaian kuat tekan karakteristik beton (f'_c) sebesar 5,19 MPa namun demikian ketika campuran substitusi 20% agregat kasar tersebut di tambah additive *bestmittel* sebesar 0,5% terhadap berat semen, maka dicapai f'_c sebesar 26,61 MPa atau mengalami kenaikan sebesar 1,23% terhadap kuat tekan beton normal.

Berikut adalah grafik gabungan pengaruh limbah beton dan *bestmittel*



Gambar 4. 6 Grafik gabungan pengaruh limbah rigid dan *bestmittel* (Sumber: hasil olah laboratorium 2024)

Pada grafik diatas dapat dijelaskan bahwa beton umur 7 hari mengalami penurunan kuat tekan dari beton normal sebesar 5,57 MPa atau pada limbah rigid 20%, kemudian mengalami peningkatan 2,26 MPa atau pada limbah rigid 20% + *bestmittel* 0,5%.

Pada beton umur 14 hari mengalami penurunan kuat tekan dari beton normal sebesar 4,53 MPa pada limbah rigid 20% mengalami peningkatan 3,87 MPa pada limbah beton 20% + *bestmittel* 0,5%.

Pada beton umur 28 hari mengalami penurunan kuat tekan dari beton normal sebesar 5,19 MPa pada limbah rigid 20% kemudian mengalami peningkatan 1,23 MPa pada limbah rigid 20% + *bestmittel* 0,5%.

Dari penjelasan diatas dapat disimpulkan bahwa penambahan limbah rigid 20% dapat menurunkan kuat tekan beton sebesar 5,19 MPa dari kuat tekan rencana atau beton normal. Hal ini disebabkan karena kualitas agregat limbah rigid cenderung lebih rendah dibandingkan agregat alami sehingga menyebabkan kualitas beton menurun.

Penambahan *bestmittel* 0,5% pada beton dengan tambahan limbah rigid 20% dapat meningkatkan kembali kuat tekan beton sebesar 6,42 MPa yang sebelumnya mengalami penurunan sebanyak 5,19 MPa hal ini disebabkan karena sifat dari *bestmittel* yang dapat meningkatkan kualitas beton.

E. Kuat Tarik Belah Beton

Setelah melalui proses pembuatan dan perawatan benda uji, selanjutnya dilakukan pengujian kuat tarik belah terhadap benda uji tersebut. Pengujian kuat tarik belah dilakukan pada saat benda uji berumur 28 hari dengan menggunakan benda uji berupa silinder dengan ukuran panjang 30 cm dan diameter 15 cm sebanyak 8 buah sampel. Yang terdiri dari beton normal, limbah beton 20%, limbah rigid 20%+*Bestmittel* 0,5%. kemudian setiap benda uji yang akan dilakukan pengujian kuat tarik belah beton ditimbang terlebih dahulu.

Adapun hasil dari pengujian kuat tarik belah beton dengan umur perawatan 28 hari terhadap beton normal, limbah rigid 20% limbah rigid 20% *Bestmittel* 0,5% adalah sebagai berikut:

1. Beton normal

Dari hasil penelitian, pengujian terhadap beton normal dilakukan pada saat benda uji berumur 28 hari hasil kuat tarik belah yang di dapatkan yaitu sebagai berikut:

Tabel 4. 13 Rekapitulasi hasil pengujian kuat tarik belah beton normal
(Sumber: hasil olah laboraturium 2024)

No.	Umur Hari	Berat (Kg)	Tinggi (mm)	Luas (mm)	P.Maks (Kn)	Kuat Tarik Belah (MPa)	Kuat Tarik Rata-rata (MPa)
1	28	12,480	300	150	145	6,444	6,556
2		12,440	300	150	150	6,667	

Pada pengujian kuat tarik belah beton untuk beton normal didapatkan nilai kuat tekan rata-rata 6,55 MPa. Berdasarkan sumber nilai kuat tarik belah berkisar antara 9-15% dari nilai kuat tekan teoritis sebesar 3,81 MPa. Sehingga nilai pengujian kuat tarik belah sudah sesuai dengan nilai kuat tarik belah teoritis.

Dari hasil pengujian kuat tarik belah pada benda uji, tidak mengalami segregasi (penyebaran tidak merata agregat pada beton) karena agregat pada benda uji tersebar merata dalam campuran, dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 4. 7 Tarik belah beton normal

Darigambar pengujian kuat tarik belah pada benda uji, penyebaran agregat pada beton dapat dirumuskan berdasarkan dari perhitungan berikut:

a. Sebaran agregat bagian atas

$$\begin{aligned} \% \text{ sebesar agregat} &= \frac{S.Agregat Atas}{Total agregat} \times 100 \\ &= \frac{9}{19} \times 100 \\ &= 47 \% \end{aligned}$$

b. Sebaran agregat bagian bawah

$$\begin{aligned} \% \text{ Sebaran agregat} &= \frac{S.Agregat Bawah}{Total agregat} \times 100 \\ &= \frac{10}{19} \times 100 \\ &= 53 \% \end{aligned}$$

Dapat dilihat dari hasil perhitungan diatas, perbandingan penyebaran agregat bagian atas dan bagian bawah sebesar 47% : 53 %. Sehingga dapat disimpulkan bahwa penyebaran agregat pada beton merata.

2. Limbah rigid

Dari hasil penelitian, pengujian terhadap beton variasi limbah beton dilakukan pada saat benda uji berumur 28 hari hasil kuat tarik belah yang di dapatkan yaitu sebagai berikut:

Tabel 4. 14 Rekapitulasi hasil pengujian kuat tarik belah beton variasi limbah rigid 20% (Sumber: hasil olah laboratorium 2024)

No.	Umur Hari	Berat (Kg)	Tinggi (mm)	Luas (mm)	P.Maks (Kn)	Kuat Tarik Belah (MPa)	Kuat Tarik Rata-rata (MPa)
1	28	12,480	300	150	90	4,000	4,111
2		12,090	300	150	95	4,222	

Pada pengujian kuat Tarik belah beton untuk beton variasi limbah rigid didapatkan nilai kuat tekan rata-rata 4,11 MPa.



Gambar 4.8 Tarik belah beton campuran limbah rigid 20%

Gambar pengujian kuat tarik belah pada benda uji, penyebaran agregat pada beton dapat dirumuskan berdasarkan dari perhitungan berikut:

- a. Sebaran agregat bagian atas

$$\begin{aligned} \% \text{ Sebaran agregat} &= \frac{S.Agregat Atas}{Total agregat} \times 100 \\ &= \frac{23}{48} \times 100 \\ &= 47,92 \% \end{aligned}$$

- b. Sebaran agregat bagian bawah

$$\begin{aligned} \% \text{ Sebaran agregat} &= \frac{S.Agregat Bawah}{Total agregat} \times 100 \\ &= \frac{25}{48} \times 100 \\ &= 52,08 \% \end{aligned}$$

Dapat dilihat dari hasil perhitungan diatas, perbandingan penyebaran agregat bagian atas dan bagian bawah sebesar 47,92% : 52,08 %. Sehingga dapat disimpulkan bahwa penyebaran agregat pada beton merata.

3. Variasi limbah rigid 20% + *bestmittel* 0,5%

Dari hasil penelitian, pengujian terhadap beton variasi limbah rigid 20% + *bestmittel* 0,5% dilakukan pada saat benda uji berumur 28 hari hasil kuat Tarik belah yang didapatkan yaitu sebagai berikut:

Tabel 4. 15 Rekapitulasi hasil pengujian kuat tarik belah beton variasi limbah rigid 20% + *bestmittel* 0,5% (Sumber: hasil olah laboratorium 2024)

No.	Umur Hari	Berat (Kg)	Tinggi (mm)	Luas (mm)	P.Maks (Kn)	Kuat Tarik Belah (MPa)	Kuat Tarik Rata-rata (MPa)
1	28	12,480	300	150	150	7,556	7,333
2		12,280	300	150	160	7,111	

Pada pengujian kuat Tarik belah beton untuk beton variasi limbah rigid 20% + *bestmittel* 0,5% didapatkan nilai kuat tekan rata-rata 6,88 MPa.



Gambar 4. 9 Tarik belah beton campuran limbah rigid 20% + bestmittel 0,5%

Dari gambar pengujian kuat tarik belah pada benda uji, penyebaran agregat pada beton dapat dirumuskan berdasarkan dari perhitungan berikut:

- a. Sebaran agregat bagian atas

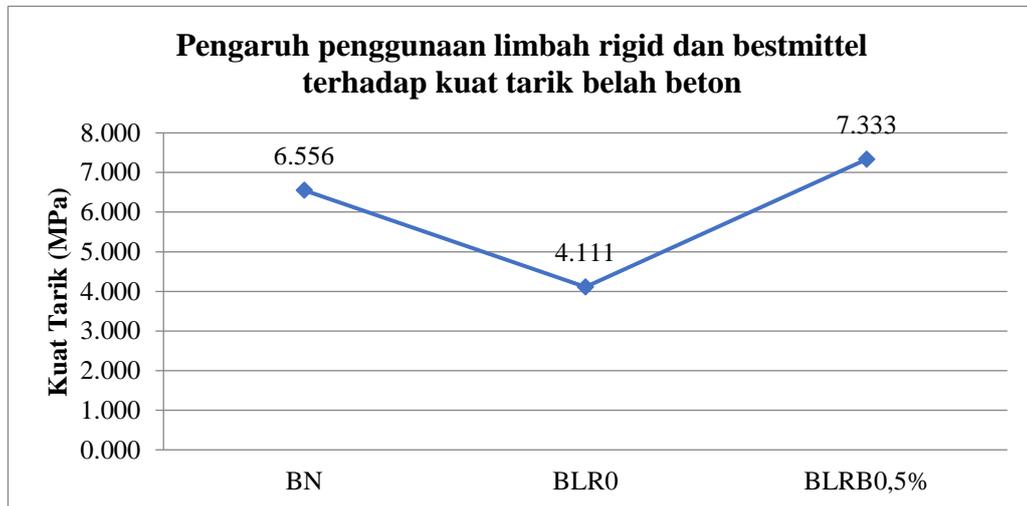
$$\begin{aligned} \% \text{ Sebaran agregat} &= \frac{S.Agregat Atas}{Total agregat} \times 100 \\ &= \frac{14}{27} \times 100 \\ &= 51,85 \% \end{aligned}$$

- b. Sebaran agregat bagian bawah

$$\begin{aligned} \% \text{ Sebaran agregat} &= \frac{S.Agregat Bawah}{Total agregat} \times 100 \\ &= \frac{13}{27} \times 100 \\ &= 48,15 \% \end{aligned}$$

Dapat dilihat dari hasil perhitungan diatas, perbandingan penyebaran agregat bagian atas dan bagian bawah sebesar 51,85% : 48,85 %. Sehingga dapat disimpulkan bahwa penyebaran agregat pada beton merata.

Berikut adalah grafik pengaruh penggunaan limbah rigid dan *bestmittel* terhadap kuat tarik belah beton :



Gambar 4. 10 Grafik pengaruh penambahan limbah Rigid dan Bestmittel
(Sumber: hasil olah laboratorium 2024)

Pada grafik diatas dapat dijelaskan bahwa pada beton karakteristik mengalami penurunan kuat tarik belah dari beton normal sebesar 2,445% pada beton variasi beton limbah rigid 20%, kenaikan kuat tarik belah dari beton normal sebesar 0,777% pada beton variasi beton limbah rigid 20% + *bestmittel* 0,5%.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dibahas diatas, dapat ditarik kesimpulan, yaitu sebagai berikut:

1. a) Subtitusi 20% agregat kasar dan limbah rigid mengalami penurunan ($f'c$) sebesar 5,19 MPa namun ketika campuran subtitusi 20% agregat kasar tersebut di tambah additive bestmittel sebesar 0,5% dapat meningkatkan ($f'c$) sebesar 1,23%.
b) Pengaruh untuk hasil pengujian tarik belah beton yang meperhatikan variasi campuran dengan 3 variasi yaitu variasi BN, BLR20% dan BLRB0,5%, maka didapatkan hasil pengujian uji kuat tarik belah didapatkan nilai rata-rata 6,55 MPa. Untuk variasi 20% didapatkan nilai rata-rata 4,11 MPa. Untuk variasi BLRB0,5% didapatkan nilai rata-rata 7,33 MPa.
2. Perawatan campuran ($f'c$) pada BLR disebabkan oleh karakteristik LR yang lebih rapuh (1% keausannya lebih besar) Dengan pemakaian batu pecah. Adapun kenaikan capaian ($f'c$) pada variasi BLRB disebabkan persentasinya yang lebih rendah dari BN, hal ini disebabkan dari data berat sampel Dimana berat rata-rata BLRB sebesar 12,37 kg sedangkan berat sampel BN hanya 12,25 kg.

B. Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lanjutan menggunakan limbah rigid + *bestmittel* dengan persentase yang berbeda dengan mutu tertentu agar hasil yang diperoleh dapat diketahui kekuatan beton tersebut.
2. Disarankan penelitian selanjutnya menggunakan bahan additive yang berbeda untuk menghasilkan mutu beton yang lebih maksimal.
3. Disarankan penggunaan campuran limbah rigid dengan variasi kurang dari 20% guna untuk meningkatkan kuat tekan beton.

DAFTAR PUSTAKA

- Budiman Budiman, & Syilviana Dwi Adhistie. (2020). Penambahan Limbah Mortar dan Additive Bestmittel Terhadap Kuat Tekan Beton. *Jurnal Informasi, Sains Dan Teknologi*, 3(1), 21–26. <https://doi.org/10.55606/isaintek.v3i1.27>
- Badan Standardisasi Nasional. (2012) *Tata Cara Pemilihan Campuran Untuk Beton Normal, Beton Berat dan Beton Massa*. SNI 7656:2012. Jakarta: Departemen pekerjaan umum
- Badan Standar Nasional. (2011) *Cara Uji Kuat Tekan Beton Dengan Banda Uji Silinder*. SNI 1974:2011. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum
- Badan Standar Nasional. (2002). *Tata cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (Beta Version)*. SNI 03-2847-2002. Bandung: Departemen Pekerjaan Umum
- Badan Standar Nasional. (2008) *Cara Uji Slump Beton*. SNI 1972:2008. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum
- Badan Standar Nasional. (2000) *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*. SNI 03-2834-2000. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum
- Badan Standar Nasional. (2019). *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung Dan Penjelasannya*. SNI 2847:2019. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum
- Dewi, E. S. (2023). Pemanfaatan Limbah Hasil Pengujian Beton Pada Proyek Bypass (BIL) Mandalika Sebagai Pengganti Sebagian Agregat Kasar Beton Normal. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Fakultas Teknik*, 1–8.
- Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Parepare. (2021). *Panduan penulisan proposal & skripsi*. Parepare: Universitas Muhammadiyah Parepare
- Hakzah, Sulfanita, Y. (2021). *Perkerasan Jalan (Quarry Gunung Lakera Bum , Gunung Lompongang , Dan Gunung Benderae Kab . Pinrang)*. 1(1), 1–6.
- Hardjasaputra, H. & Ciputera, A. (2008). *Penggunaan Limbah Beton Sebagai Agregat Kasar Pada Campuran Beton Baru*. Banten: Jurnal Teknik Sipil Universitas Pelita Harapan.
- Mulyono, T. (2004). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Andi
- Nugraha, Y., Prayuda, H., & Saleh, F. (2017). Pengaruh Variasi Bahan Tambah

Abu Sekam Padi dan Zat Adiktif Bestmittel 0,5% YOGA NUGRAHA, HAKAS PRAYUDA, FADILLAWATY SALEH. *Semesta Teknika*, 20(2), 116–124.

Nurfitriana, Hakzah, H. (2023). *Studi kelayakan agregat kasar dari gunung buccumpare dan agregat halus dari sungai lasape*. 3(1), 52–58.

Soelarso, S., & Baehaki, B. (2016). Pengaruh Penggunaan Limbah Beton Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Beton Normal Terhadap Kuat Tekan Dan Modulus Elastisitas. *Fondasi : Jurnal Teknik Sipil*, 5(2). <https://doi.org/10.36055/jft.v5i2.1254>

Sudika, I. G. M., Eka Partama, I. G. N., & Surya Dinata, I. G. (2019). *Analisis Limbah Benda Uji Beton untuk Mensubstitusi Agregat Kasar pada Campuran Beton*. *Jurnal Teknik Gradien*. 11(1) :45-56

Sulistyawati, R. (2020). Pengaruh Penggunaan Zat Additive Bestmittel Terhadap Kuat Tekan Beton. *Teodolita*, 11(2), 34–46.

Tandon, Adnan, M. (2024). *Perilaku Kekuatan Tarik Beton yang Mengandung Air Laut , Pasir Laut Bersama dengan Serat Baja*. 1(April).

Tjokrodimulyo, K. (1996). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Nafiri