

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Konsep Beton Ringan

Beton ringan adalah jenis beton yang memiliki berat jenis lebih rendah dibandingkan beton normal. Pengurangan berat jenis ini dicapai melalui penggunaan agregat ringan atau pembentukan pori-pori udara di dalam massa beton. Material ini memiliki potensi signifikan dalam aplikasi konstruksi untuk mengurangi beban mati struktural, yang berimplikasi pada efisiensi biaya dan kemudahan penanganan. Pengurangan berat beton juga dapat mempermudah proses pembangunan, terutama pada area yang sulit dijangkau atau memerlukan elemen pracetak yang ringan. Sifat isolasi termal dan akustik yang lebih baik seringkali juga menjadi keunggulan tambahan dari beton ringan dibandingkan beton konvensional. Selain itu, penggunaan agregat ringan dapat berkontribusi pada pengurangan konsumsi sumber daya alam jika agregat tersebut berasal dari material daur ulang atau produk samping industri.

Klasifikasi beton ringan umumnya didasarkan pada berat jenisnya, di mana standar internasional sering menetapkan batas berat isi tertentu. Beton ringan struktural, misalnya, harus memenuhi persyaratan kekuatan yang memadai selain memiliki berat jenis yang rendah. Berbagai jenis agregat ringan dapat digunakan, termasuk agregat alami seperti batu apung, perlit, atau vermikulit, serta agregat buatan seperti keramik ringan atau terak tanur tinggi yang telah diolah. Pemilihan jenis agregat sangat krusial karena akan memengaruhi sifat mekanik dan fisik beton secara keseluruhan. Kebutuhan akan material bangunan yang lebih ramah lingkungan dan efisien mendorong eksplorasi lebih lanjut terhadap potensi beton ringan.

Penggunaan agregat ringan secara substansial dapat mengubah sifat beton, tidak hanya pada berat jenis tetapi juga pada kuat tekan, kuat tarik, dan permeabilitasnya. Sifat porositas agregat ringan, misalnya, dapat meningkatkan penyerapan air dan memengaruhi ikatan antara agregat dan pasta semen. Oleh karena itu, desain campuran beton ringan memerlukan pertimbangan yang cermat terhadap proporsi agregat, jenis semen, dan penggunaan bahan tambah (admixture)

untuk mencapai keseimbangan antara pengurangan berat dan kinerja struktural yang diinginkan. Optimalisasi campuran adalah kunci untuk memaksimalkan manfaat beton ringan sekaligus meminimalkan potensi kelemahannya.

Tantangan utama dalam pengembangan beton ringan meliputi potensi penurunan kuat tekan jika penggunaan agregat ringan berlebihan. Sifat batu apung yang berpori dan ringan, meskipun efektif mengurangi densitas, dapat menyebabkan peningkatan rongga internal dan reduksi kontak antar partikel agregat, yang berdampak negatif pada kekuatan struktur. Oleh karena itu, penelitian yang bertujuan untuk memahami secara kuantitatif pengaruh variasi agregat ringan terhadap karakteristik beton menjadi sangat penting. Pemahaman mendalam tentang interaksi antara agregat dan matriks semen dalam konteks beton ringan sangat dibutuhkan.

Selain itu, aspek keberlanjutan dari beton ringan juga perlu diperhatikan. Penggunaan agregat lokal seperti batu apung, yang melimpah di beberapa wilayah Indonesia, dapat menjadi solusi ekonomis dan ramah lingkungan. Hal ini sejalan dengan upaya pemerintah dan industri konstruksi untuk mengurangi jejak karbon dan memanfaatkan sumber daya secara lebih efisien. Penelitian ini berfokus pada agregat batu apung karena ketersediaannya yang cukup di Indonesia dan potensi untuk menggantikan sebagian agregat alami pada beton konvensional.

2.2 Konsep Batu Apung sebagai Agregat Ringan

Batu apung, atau pumice, adalah batuan vulkanik ekstrusif yang terbentuk dari pendinginan cepat lava yang kaya gas. Karakteristik utamanya adalah strukturnya yang sangat berpori dan ringan, dengan densitas yang bervariasi tergantung pada komposisi mineral dan tingkat pembentukan vesikula (gelembung gas). Kandungan silika yang tinggi merupakan ciri khas batu apung, menjadikannya material yang cukup keras namun rapuh. Sifat fisik batu apung, seperti bobot jenis yang rendah dan permukaan yang kasar, menjadikannya kandidat agregat ringan yang potensial dalam campuran beton. Tingkat porositas batu apung dapat mencapai lebih dari 80%, yang secara signifikan berkontribusi pada pengurangan berat isi beton ketika digunakan sebagai substitusi agregat konvensional.

Dalam industri konstruksi, batu apung dapat dimanfaatkan dalam berbagai bentuk, baik sebagai agregat kasar maupun agregat halus. Penggunaannya sebagai agregat halus, misalnya pasir batu apung, telah diteliti secara ekstensif dan menunjukkan potensi untuk menggantikan sebagian atau seluruh pasir alami dalam campuran beton (Gaus et al., 2022; Abdul Gaus et al., 2023). Demikian pula, batu apung yang dipecah menjadi ukuran agregat kasar juga telah dieksplorasi untuk substitusi kerikil. Kemampuan batu apung untuk menyerap air cukup tinggi, yang perlu diperhitungkan dalam desain campuran agar tidak memengaruhi rasio air-semen secara drastis. Tingkat penyerapan air ini juga dapat memengaruhi waktu pengikatan dan kekuatan awal beton.

Penggunaan batu apung sebagai agregat ringan dalam beton telah terbukti efektif dalam menurunkan berat jenis beton secara signifikan. Studi menunjukkan bahwa peningkatan persentase batu apung dalam campuran beton secara langsung berkorelasi dengan penurunan berat isi beton. Hal ini penting untuk aplikasi struktural di mana pengurangan beban mati sangat krusial, seperti pada bangunan bertingkat tinggi atau jembatan. Namun, penurunan berat ini seringkali disertai dengan penurunan sifat mekanik, terutama kuat tekan (Gaus et al., 2022; Yazid et al., 2025). Sifat batu apung yang rapuh dan adanya pori-pori internal dapat menciptakan titik lemah dalam matriks beton.

Meskipun demikian, penelitian yang lebih mendalam juga menunjukkan bahwa dengan optimasi campuran yang tepat, beton ringan berbasis batu apung masih dapat mencapai kuat tekan yang memenuhi standar untuk aplikasi tertentu. Penggunaan persentase batu apung yang terkontrol, kombinasi dengan bahan tambah seperti bubuk batu apung atau serbuk batu apung, serta penggunaan binder alternatif seperti geopolimer, dapat menjadi strategi untuk meningkatkan kinerja mekanik beton ringan (Fauzi et al., 2025; Putrianti et al., 2024). Variasi dalam sumber dan karakteristik batu apung itu sendiri juga dapat memengaruhi hasil akhir, sehingga penelitian lokal menjadi penting untuk memahami potensi batu apung spesifik di suatu wilayah.

Potensi batu apung sebagai agregat ringan di Indonesia sangat besar mengingat sumber daya vulkanik yang melimpah. Pemanfaatan material lokal ini

tidak hanya dapat menciptakan produk konstruksi yang lebih ekonomis, tetapi juga berkontribusi pada pengurangan ketergantungan pada agregat konvensional yang mungkin semakin langka. Oleh karena itu, penelitian yang mengkaji secara spesifik pengaruh variasi penggunaan batu apung terhadap sifat beton sangat relevan untuk pengembangan industri konstruksi di Indonesia.

2.3 Kajian Teori Material Komposit

Teori material komposit memberikan kerangka kerja fundamental untuk memahami perilaku bahan yang terdiri dari dua atau lebih konstituen dengan sifat yang berbeda, yang ketika digabungkan akan menghasilkan kinerja yang lebih unggul dibandingkan komponen individunya. Dalam konteks beton, semen Portland yang mengeras berfungsi sebagai matriks, sementara agregat (batu apung dalam penelitian ini) berperan sebagai pengisi atau penguat. Teori ini menjelaskan bahwa kekuatan dan kekakuan komposit sangat bergantung pada sifat masing-masing konstituen, sifat antarmuka antara matriks dan pengisi, serta distribusi dan orientasi pengisi. Interaksi antara pasta semen dan permukaan batu apung sangat memengaruhi kekuatan ikatan, pada akhirnya, kuat tekan beton secara keseluruhan.

Prinsip dasar teori komposit menekankan pentingnya kesesuaian sifat antara matriks dan agregat. Pori-pori yang banyak pada batu apung, meskipun berguna untuk mengurangi berat, dapat mengurangi luas kontak yang efektif dengan matriks semen. Hal ini dapat menciptakan zona lemah di sekitar agregat, yang rentan terhadap inisiasi retak di bawah beban. Teori ini juga membahas pengaruh volume fraksi agregat terhadap sifat komposit. Peningkatan volume agregat ringan seperti batu apung secara signifikan akan menurunkan berat jenis, tetapi juga dapat mengurangi kemampuan komposit untuk menahan beban tarik dan tekan, tergantung pada kekuatan ikatan antar muka.

Lebih lanjut, teori komposit menyoroti fenomena antarmuka (interphase) antara matriks dan pengisi. Kekuatan antarmuka ini adalah faktor kritis yang menentukan bagaimana beban ditransfer dari matriks ke agregat. Jika ikatan antar muka lemah, beban tidak dapat ditransfer secara efisien, dan kegagalan dapat terjadi pada antarmuka itu sendiri atau pada agregat yang lebih lemah. Untuk beton

ringan berbasis batu apung, pengembangan antarmuka yang kuat antara pasta semen dan permukaan batu apung yang berpori menjadi tantangan tersendiri. Modifikasi permukaan agregat atau penggunaan bahan tambah dapat membantu meningkatkan adhesi antar muka.

Dalam studi ini, teori material komposit relevan untuk menganalisis bagaimana substitusi agregat konvensional dengan batu apung memengaruhi sifat mekanik beton. Perubahan dalam komposisi material komposit (beton) akibat penambahan proporsi batu apung akan dievaluasi dampaknya terhadap berat jenis dan kuat tekan. Pemahaman terhadap prinsip-prinsip komposit membantu menjelaskan mengapa peningkatan kandungan batu apung, meskipun menurunkan densitas, juga berpotensi mengurangi kekuatan.

a. Teori Mekanika Beton

Teori mekanika beton merupakan bidang studi yang mendalam mengenai perilaku beton sebagai material konstruksi. Teori ini berfokus pada bagaimana beton merespons gaya eksternal, termasuk beban tarik, tekan, geser, dan puntir. Beton, sebagai material komposit yang heterogen, memiliki sifat non-linear dan perilaku yang kompleks, yang berbeda secara signifikan dari material homogen seperti baja. Pemahaman terhadap mekanisme kegagalan beton, seperti keruntuhan tekan yang ditandai dengan pecahnya pasta semen dan terlepasnya agregat, adalah inti dari teori ini.

Faktor-faktor utama yang memengaruhi kuat tekan beton menurut teori mekanika beton meliputi kekuatan dan gradasi agregat, kualitas semen, rasio air-semen, serta adanya bahan tambah. Semakin tinggi rasio air-semen, semakin besar porositas pada matriks semen yang mengeras, sehingga mengurangi kekuatan tekan beton. Sebaliknya, rasio air-semen yang rendah cenderung menghasilkan beton yang lebih kuat dan padat. Gradasi agregat yang baik, yang menciptakan susunan partikel yang padat, juga berkontribusi pada peningkatan kekuatan dan pengurangan rongga udara.

Dalam konteks penelitian ini, teori mekanika beton sangat relevan untuk memahami bagaimana penggantian agregat konvensional dengan batu apung akan memengaruhi kekuatan mekanik beton. Batu apung memiliki karakteristik yang

berbeda dari agregat alam padat (seperti kerikil dan pasir), yaitu porositas dan densitasnya yang rendah. Perubahan ini akan memengaruhi distribusi tegangan di dalam massa beton dan mekanisme propagasi retak. Teori mekanika beton membantu menginterpretasikan data kuat tekan yang diperoleh dari pengujian beton yang divariasikan dengan batu apung.

Selain itu, teori ini juga mencakup konsep berat jenis beton, yang merupakan indikator penting dari kuantitas material yang digunakan per satuan volume. Berat jenis dipengaruhi oleh densitas bahan penyusunnya, khususnya agregat, serta tingkat kepadatannya (jumlah rongga udara). Perubahan dalam jenis agregat, seperti penggunaan batu apung, akan secara langsung memengaruhi berat jenis beton. Teori mekanika beton juga mengaitkan berat jenis dengan kuat tekan, meskipun hubungan ini tidak selalu linier dan dapat dipengaruhi oleh faktor lain.

Penelitian ini menggunakan prinsip-prinsip mekanika beton untuk mengukur dan menganalisis pengaruh variasi batu apung pada berat jenis dan kuat tekan beton. Perilaku material yang diamati selama pengujian akan diinterpretasikan berdasarkan prinsip-prinsip yang telah ditetapkan dalam teori mekanika beton. Hal ini memungkinkan para peneliti untuk membuat kesimpulan yang valid mengenai kinerja beton ringan yang dihasilkan.

b. Teori Porositas dan Permeabilitas

Teori porositas dan permeabilitas menjelaskan sifat material berdasarkan keberadaan dan karakteristik rongga di dalamnya. Porositas merujuk pada total volume rongga dalam suatu material, sementara permeabilitas mengacu pada kemampuan fluida (seperti air atau udara) untuk melewati rongga-rongga tersebut. Material dengan porositas tinggi seringkali memiliki berat jenis yang rendah. Dalam konteks beton, porositas dapat timbul dari rongga udara yang terperangkap selama pencampuran, rongga akibat proses hidrasi semen, atau dari porositas intrinsik agregat yang digunakan.

Batu apung, sebagai agregat ringan, secara inheren memiliki porositas yang sangat tinggi. Pori-pori ini dapat berbentuk gelembung udara yang terbentuk saat pendinginan lava. Keberadaan pori-pori dalam agregat batu apung ini secara langsung berkontribusi pada penurunan berat jenis beton ketika digunakan sebagai

substitusi agregat konvensional. Namun, porositas ini juga dapat memengaruhi kekuatan ikatan antara agregat dan pasta semen, serta menyediakan jalur bagi penetrasi air dan zat korosif jika tidak dilapisi dengan baik.

Permeabilitas beton juga sangat dipengaruhi oleh tingkat porositasnya. Beton dengan porositas yang lebih tinggi cenderung memiliki permeabilitas yang lebih tinggi, yang berarti lebih mudah ditembus oleh air, garam, atau gas. Hal ini dapat berdampak negatif pada durabilitas beton, membuatnya lebih rentan terhadap serangan kimia, pembekuan-pencairan, dan korosi tulangan. Oleh karena itu, meskipun pengurangan berat jenis adalah tujuan utama penggunaan batu apung, manajemen porositas dan permeabilitas menjadi aspek penting yang perlu dikelola dalam desain beton ringan.

Penelitian mengenai pengaruh variasi penggunaan batu apung terhadap berat jenis dan kuat tekan beton secara implisit juga berkaitan dengan teori porositas. Peningkatan kandungan batu apung diharapkan akan meningkatkan porositas total beton, yang pada gilirannya akan menurunkan berat jenis. Namun, peningkatan porositas ini juga dapat menjadi faktor utama penyebab penurunan kuat tekan. Pengujian berat jenis secara langsung mencerminkan total volume rongga yang ada, sementara kuat tekan dipengaruhi oleh distribusi, ukuran, dan konektivitas pori-pori tersebut.

Oleh karena itu, analisis terhadap hasil pengujian berat jenis dan kuat tekan beton dengan variasi batu apung akan memberikan wawasan mengenai bagaimana porositas agregat batu apung memengaruhi kedua properti ini. Pemahaman ini krusial untuk merancang campuran beton ringan yang tidak hanya ringan tetapi juga memiliki durabilitas dan kekuatan yang memadai untuk aplikasi struktural.

c. Teori Pengaruh Ukuran dan Bentuk Agregat

Teori pengaruh ukuran dan bentuk agregat menjelaskan bagaimana karakteristik fisik agregat, seperti ukuran partikel dan bentuknya, memengaruhi kinerja beton secara keseluruhan. Ukuran agregat yang lebih besar dapat mengurangi kebutuhan pasta semen untuk mengisi ruang antar agregat, berpotensi mengurangi penyusutan dan biaya, namun juga dapat menciptakan kantong agregat yang kurang terisi pasta dan menurunkan workabilitas. Bentuk agregat yang

bersudut dan kasar umumnya menghasilkan ikatan yang lebih baik dengan pasta semen dibandingkan agregat yang bulat dan halus, sehingga berkontribusi pada kekuatan yang lebih tinggi.

Dalam beton normal, gradasi agregat yang optimal, yaitu kombinasi agregat kasar dan halus dengan ukuran yang bervariasi, menghasilkan susunan partikel yang padat. Susunan padat ini meminimalkan volume rongga udara yang perlu diisi oleh pasta semen, sehingga menghemat semen dan meningkatkan kekuatan serta kepadatan beton. Proporsi agregat kasar terhadap agregat halus juga memengaruhi workabilitas dan kekuatan beton.

Berbeda dengan agregat konvensional, batu apung memiliki karakteristik ukuran dan bentuk yang dapat bervariasi. Batu apung dapat dipecah menjadi ukuran yang menyerupai agregat kasar atau digiling menjadi bubuk halus menyerupai pasir. Meskipun memiliki permukaan yang umumnya kasar, struktur internalnya yang berpori memberikan perbedaan signifikan dibandingkan agregat alami yang padat. Teori ini penting untuk memahami bagaimana penggunaan batu apung, baik sebagai agregat kasar maupun halus, akan memengaruhi kepadatan dan kekuatan beton.

Jika batu apung digunakan sebagai pengganti agregat kasar, bentuk dan ukuran partikelnya akan memengaruhi bagaimana agregat tersebut tersusun dalam matriks. Jika digunakan sebagai pengganti agregat halus (pasir), distribusinya akan memengaruhi packing densitas dan ruang pasta yang dibutuhkan. Pengetahuan tentang bagaimana ukuran dan bentuk agregat memengaruhi kekuatan dan berat jenis beton menjadi dasar untuk mengevaluasi hasil dari penggunaan batu apung sebagai substitusi. Penelitian ini secara inheren melibatkan variasi dalam penggunaan agregat batu apung, yang akan dianalisis dampaknya berdasarkan prinsip-prinsip teori ini.

Lebih lanjut, teori ini juga mempertimbangkan rasio luas permukaan agregat terhadap volume. Agregat dengan luas permukaan yang lebih besar, seperti agregat halus atau agregat berpori, membutuhkan lebih banyak pasta semen untuk melapisi permukaannya. Hal ini dapat memengaruhi rasio air-semen efektif dan akhirnya kekuatan beton. Batu apung yang berpori memiliki luas permukaan internal yang

jauh lebih besar dibandingkan agregat padat dengan ukuran yang sama, yang perlu dikelola dalam desain campuran.

d. Teori Hubungan Air-Semen (Water-Cement Ratio Theory)

Teori Hubungan Air-Semen (W/C ratio theory) adalah salah satu pilar fundamental dalam teknologi beton, yang pertama kali dirumuskan secara komprehensif oleh Duff Abrams pada awal abad ke-20. Teori ini menyatakan bahwa kuat tekan beton berbanding terbalik dengan rasio jumlah air terhadap jumlah semen dalam campuran. Artinya, semakin tinggi rasio air-semen, semakin rendah kuat tekan beton yang dihasilkan. Sebaliknya, rasio air-semen yang rendah akan menghasilkan beton dengan kuat tekan yang lebih tinggi dan durabilitas yang lebih baik.

Mekanisme di balik teori ini adalah bahwa air dalam campuran beton tidak seluruhnya bereaksi dengan semen selama proses hidrasi. Sebagian air yang berlebih akan menguap setelah beton mengeras, meninggalkan pori-pori kosong (rongga kapiler) di dalam matriks pasta semen. Semakin banyak air yang berlebih, semakin banyak dan besar pori-pori yang terbentuk, yang secara signifikan mengurangi kekuatan dan kepadatan beton. Rasio air-semen yang optimal biasanya berkisar antara 0,35 hingga 0,55 untuk beton struktural, tergantung pada persyaratan kinerja spesifik.

Dalam penelitian ini, teori hubungan air-semen tetap relevan meskipun ada penggunaan agregat ringan. Batu apung memiliki kemampuan penyerapan air yang tinggi. Hal ini berarti bahwa batu apung yang kering akan menyerap sebagian air dari campuran saat pencampuran. Agar rasio air-semen efektif tetap terjaga sesuai rencana, jumlah air tambahan perlu diperhitungkan untuk mengkompensasi air yang terserap oleh agregat batu apung. Jika tidak diperhitungkan, penggunaan batu apung yang kering dapat secara efektif menurunkan rasio air-semen, yang berpotensi meningkatkan kuat tekan namun juga bisa memengaruhi workabilitas.

Oleh karena itu, dalam desain campuran beton ringan menggunakan batu apung, penting untuk melakukan penyesuaian terhadap jumlah air pencampur berdasarkan tingkat saturasi permukaan agregat batu apung. Pendekatan ini memastikan bahwa rasio air-semen yang dihitung berdasarkan semen dan air bebas

(tidak terserap oleh agregat) tetap terkontrol. Teori ini menjadi panduan penting dalam merancang campuran agar dapat mengevaluasi pengaruh variasi batu apung secara independen dari perubahan rasio air-semen yang signifikan.

Dengan mengontrol rasio air-semen secara cermat, penelitian ini dapat lebih akurat mengisolasi pengaruh variasi penggunaan agregat ringan batu apung terhadap berat jenis dan kuat tekan beton.

2.4 Penelitian Terdahulu

Berbagai penelitian telah mengkaji penggunaan batu apung sebagai agregat dalam beton, dengan fokus utama pada pengurangan berat jenis dan dampaknya terhadap kuat tekan. Mayoritas studi menunjukkan bahwa peningkatan proporsi batu apung dalam campuran beton secara konsisten menurunkan berat jenis beton, mengklasifikasikannya sebagai beton ringan (Gaus et al., 2022; Abdul Gaus et al., 2023). Pengaruh terhadap kuat tekan cenderung negatif; semakin tinggi persentase batu apung yang digunakan, semakin besar pula penurunan kuat tekan beton. Misalnya, Gaus et al. (2022) menemukan penurunan kuat tekan hingga 81,10% saat pasir diganti sepenuhnya dengan pasir batu apung, sementara Yazid et al. (2025) melaporkan penurunan 48,57% ketika batu apung digunakan sebagai substitusi agregat kasar pada tingkat 100%. Okvianti Irlan et al. (2025) juga mencatat penurunan kuat tekan yang signifikan pada beton ringan yang menggunakan batu apung sebagai agregat kasar.

Namun, beberapa penelitian juga menyoroti potensi penggunaan batu apung yang lebih optimal. Firdaus Rizal Auliya Hadi et al. (2026) melaporkan bahwa substitusi agregat halus dengan batu apung pada persentase 5% dan 10% masih mampu mempertahankan kuat tekan, kuat tarik, dan kuat lentur beton pada tingkat yang dapat diterima. Studi oleh Fauzi et al. (2025) menunjukkan bahwa dengan optimasi campuran yang tepat, termasuk penggunaan bubuk batu apung sebagai agregat halus dan dikombinasikan dengan bahan tambah lain, kuat tekan beton ringan struktural yang memadai dapat dicapai. Hal ini mengindikasikan bahwa proporsi penggunaan batu apung dan desain campuran yang cermat sangat krusial dalam menentukan kinerja mekanik beton ringan. Penelitian ini juga menyoroti bahwa batu apung dapat digunakan dalam beton geopolimer (Putrianti et al., 2024;

Tata et al., 2024), yang mungkin memiliki karakteristik berbeda dari beton semen Portland konvensional.

Di Indonesia, penelitian seperti yang dilakukan oleh Jamal (2023) mengkaji variasi kandungan semen pada beton ringan agregat batu apung dan material lokal, Arifin (2021) meneliti pengaruh batu apung sebagai pengganti agregat kasar terhadap kuat tekan, dan Putrianti (2024) mengeksplorasi penggunaan batu apung pada beton geopolimer. Temuan-temuan ini menegaskan bahwa banyak peneliti di Indonesia telah mulai mengeksplorasi potensi batu apung sebagai agregat ringan untuk konstruksi. Meskipun demikian, masih terdapat variasi dalam metodologi, jenis agregat batu apung yang digunakan (pasir, kasar, atau bubuk), serta fokus penelitiannya.

Perbedaan mendasar antara penelitian terdahulu dan penelitian yang diusulkan ini terletak pada fokus kuantitatif spesifik terhadap berbagai variasi persentase penggunaan batu apung sebagai agregat ringan (baik halus maupun kasar secara terpisah atau kombinasi) dan analisis korelasi langsung antara variasi tersebut dengan berat jenis dan kuat tekan beton. Beberapa studi terdahulu mungkin hanya membatasi pada satu jenis agregat batu apung (misalnya hanya pasir) atau satu tingkat substitusi. Penelitian ini akan menguji rentang variasi yang lebih luas dan menganalisis hubungan antar variabel secara lebih sistematis. Selain itu, analisis yang lebih mendalam terhadap hubungan antara berat jenis dan kuat tekan pada berbagai proporsi batu apung akan memberikan pemahaman yang lebih komprehensif.

Secara umum, penelitian terdahulu telah mengkonfirmasi potensi batu apung sebagai agregat ringan untuk mengurangi berat beton, namun juga menyoroti tantangan terkait penurunan kuat tekan. Kebutuhan akan penelitian lebih lanjut untuk mengoptimalkan desain campuran dan menentukan batas penggunaan batu apung agar tetap memenuhi persyaratan kekuatan struktural sangatlah jelas. Penelitian ini bertujuan untuk memperluas pemahaman mengenai pengaruh kuantitatif dari variasi penggunaan batu apung terhadap kedua parameter kunci ini.

Berdasarkan studi-studi terdahulu yang telah ditelaah, ditemukan bahwa penggunaan batu apung sebagai agregat ringan dalam beton secara konsisten

mampu mengurangi berat jenis, namun seringkali diikuti dengan penurunan kuat tekan. Tingkat penurunan kekuatan ini sangat bergantung pada persentase substitusi, jenis agregat batu apung (halus/kasar), serta desain campuran. Namun, masih terdapat kebutuhan untuk melakukan analisis yang lebih sistematis mengenai pengaruh variasi persentase penggunaan batu apung, baik sebagai agregat halus maupun kasar, terhadap kedua parameter kunci tersebut (berat jenis dan kuat tekan) secara terpisah dan terkombinasi dalam satu studi yang komprehensif. Penelitian ini bertujuan untuk mengisi kesenjangan tersebut dengan menguji berbagai tingkat substitusi batu apung dan menganalisis hubungan kuantitatif yang terbentuk, sehingga dapat memberikan panduan yang lebih jelas untuk aplikasi praktis.

2.5 Kerangka Pemikiran

Penelitian ini berupaya menganalisis pengaruh penggunaan batu apung sebagai agregat ringan terhadap karakteristik beton. Berdasarkan tinjauan pustaka, batu apung memiliki potensi untuk mengurangi berat jenis beton secara signifikan karena strukturnya yang berpori dan ringan. Namun, penggunaan agregat ringan seperti batu apung juga dapat memengaruhi sifat mekanik beton, terutama kuat tekan, yang merupakan parameter krusial dalam desain struktural. Oleh karena itu, penelitian ini akan menginvestigasi hubungan kuantitatif antara variasi persentase penggunaan batu apung sebagai pengganti agregat konvensional dengan berat jenis beton (sebagai ukuran pengurangan berat) dan kuat tekan beton (sebagai indikator kinerja mekanik).



Gambar 2.1 Kerangka Pemikiran

Penelitian ini didasarkan pada prinsip-prinsip rekayasa material dan mekanika beton, yang menggarisbawahi bahwa komposisi material secara langsung memengaruhi sifat fisiknya. Beton merupakan material komposit yang kinerjanya sangat ditentukan oleh interaksi antara matriks semen dan agregat. Penggunaan agregat ringan seperti batu apung menggantikan sebagian agregat konvensional akan mengubah rasio volume antara komponen-komponen ini, yang secara teoritis akan memengaruhi kepadatan dan kekuatan beton. Batu apung memiliki porositas intrinsik yang tinggi, yang berkontribusi pada penurunan berat jenis, namun dapat juga mengurangi luas kontak efektif dengan pasta semen dan menciptakan titik lemah.

Variasi persentase penggunaan agregat ringan batu apung dalam campuran beton diperkirakan akan menimbulkan dampak yang dapat diukur pada berat jenis dan kuat tekan beton. Peningkatan proporsi batu apung akan semakin mengurangi penggunaan agregat padat, sehingga menurunkan berat jenis beton secara keseluruhan. Di sisi lain, substitusi agregat konvensional dengan batu apung yang lebih lemah dan berpori secara teoritis akan menurunkan kuat tekan beton, karena agregat batu apung mungkin tidak sekuat agregat alam dan dapat meningkatkan jumlah rongga internal dalam matriks beton.

Penelitian ini berupaya untuk mengkuantifikasi hubungan tersebut. Dengan memvariasikan persentase agregat ringan batu apung dari 0% hingga 100% (baik sebagai substitusi agregat halus maupun kasar, atau kombinasi keduanya), kami akan mengukur secara akurat perubahan pada berat jenis dan kuat tekan beton. Analisis hubungan antara variabel independen (persentase penggunaan agregat ringan batu apung) dan variabel dependen (berat jenis dan kuat tekan beton) akan dilakukan untuk mengidentifikasi sejauh mana pengaruh substitusi ini. Hasil analisis akan membantu dalam memahami titik optimal penggunaan batu apung untuk mencapai keseimbangan antara pengurangan berat dan pemeliharaan kekuatan yang memadai untuk aplikasi konstruksi.

2.6 Hipotesis Penelitian

Berdasarkan kerangka pemikiran yang telah dijabarkan, penelitian ini mengajukan hipotesis mengenai pengaruh variasi penggunaan agregat ringan batu

apung terhadap berat jenis dan kuat tekan beton. Hipotesis ini diturunkan dari teori material komposit, mekanika beton, serta temuan dari penelitian terdahulu yang menunjukkan korelasi negatif antara peningkatan penggunaan agregat ringan dan kuat tekan, serta korelasi positif antara peningkatan agregat ringan dan penurunan berat jenis.

- H0a: Tidak terdapat pengaruh signifikan variasi penggunaan agregat ringan batu apung terhadap berat jenis beton.
- H1a: Terdapat pengaruh signifikan variasi penggunaan agregat ringan batu apung terhadap berat jenis beton.
- H0b: Tidak terdapat pengaruh signifikan variasi penggunaan agregat ringan batu apung terhadap kuat tekan beton.
- H1b: Terdapat pengaruh signifikan variasi penggunaan agregat ringan batu apung terhadap kuat tekan beton.

Hubungan yang diprediksi adalah bahwa peningkatan persentase agregat ringan batu apung akan menyebabkan penurunan berat jenis beton yang terukur (H1a). Sementara itu, peningkatan persentase agregat ringan batu apung diperkirakan akan menyebabkan penurunan kuat tekan beton (H1b), sejalan dengan sifat batu apung yang lebih lemah dibandingkan agregat konvensional.