

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Limbah adalah zat atau bahan buangan yang dihasilkan dari proses kegiatan manusia, menurut Suharto (2011:226). Permasalahan limbah industri menjadi isu penting dalam pembangunan berkelanjutan. Pertumbuhan sektor industri dan energi di Indonesia menghasilkan berbagai jenis limbah dalam jumlah besar, baik limbah padat maupun limbah cair. Apabila tidak dikelola dengan baik, limbah dapat mencemari lingkungan serta menimbulkan dampak negatif terhadap kesehatan dan ekosistem. Oleh karena itu, diperlukan upaya pengelolaan limbah yang tidak hanya berfokus pada pembuangan, tetapi juga pada pemanfaatan kembali (*reuse*) dan daur ulang (*recycle*) agar memiliki nilai tambah.

Salah satu limbah industri yang banyak dimanfaatkan dalam bidang konstruksi adalah *fly ash*. *Fly ash* merupakan abu sisa pembakaran batubara dan terbentuk dari perubahan bahan mineral. *fly ash* bersifat pozolan yang artinya bisa digunakan sebagai komponen tambahan atau pengganti sebagian semen Portland Syafawi., et al. (2022). Secara fisik, *fly ash* berbentuk serbuk halus berwarna abu-abu dan memiliki kandungan silika (SiO_2) serta alumina (Al_2O_3) yang cukup tinggi. *Fly ash* memiliki sifat cementitious yang memiliki potensi untuk menurunkan pemakaian semen.

Spent Bleaching Earth (SBE) merupakan limbah padat dari proses pemurnian minyak kelapa sawit menggunakan bleaching earth. Pemanfaatan SBE sebagai bahan substitusi dalam beton dapat mengurangi limbah sekaligus mengurangi penggunaan semen. Ukurannya yang halus dan lolos saringan No. 200 memungkinkan SBE berfungsi sebagai filler untuk mengisi rongga dalam campuran beton.

Menurut SNI 2847:2013 definisi beton adalah campuran antara semen portland atau semen hidrolik yang lain, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk massa padat. Tetapi belakangan ini definisi dari beton sudah semakin luas, dimana beton adalah bahan yang terbuat

dari berbagai macam tipe semen, agregat dan juga bahan pozzolan, abu terbang, terak dapur tinggi, sulfur, serat dan lain-lain, Simanullang (2022). Namun demikian, produksi semen sebagai bahan utama beton menghasilkan emisi karbon yang cukup besar, sehingga diperlukan upaya untuk mengurangi penggunaannya melalui inovasi bahan campuran alternatif. Selain itu, peningkatan kualitas beton juga menjadi perhatian utama, baik dari segi kekuatan, durabilitas, maupun efisiensi biaya produksi. Aditif merupakan zat kimia yang ditambahkan pada ke semen selama pembuatan untuk meningkatkan sifat baru pada semen. Dalam dunia konstruksi terdapat zat aditif yang berfungsi mempercepat pengikatan sebagai upaya menghasilkan beton dengan kemampuan cepat mengeras dengan tujuan agar kecepatan pelaksanaan konstruksi dapat lebih ditingkatkan.

SBE dapat dimanfaatkan sebagai substitusi parsial semen, sementara partikel halusnya berfungsi sebagai *filler* yang mengisi rongga beton. Kombinasi SBE dan *fly ash* berpotensi meningkatkan kepadatan beton sekaligus mengurangi penggunaan semen dan memanfaatkan limbah industri. *Fly ash* berperan sebagai material pozzolanik, sedangkan SBE berfungsi sebagai *filler* dan material mineral tambahan.

Penggunaan campuran SBE, semen, dan *fly ash* perlu dikaji secara mendalam untuk memperoleh proporsi optimal sehingga dapat menghasilkan beton dengan kuat tekan yang sesuai dengan mutu yang direncanakan. Kandungan minyak sisa pada SBE dapat mempengaruhi proses hidrasi semen dan menurunkan kekuatan beton apabila tidak dikontrol. Sehingga, penelitian mengenai variasi campuran menjadi penting untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kuat tekan, daya serap air, dan porositas beton.

Selain pengujian eksperimental di laboratorium, tantangan utama dalam teknologi beton alternatif adalah tingginya variabilitas material limbah seperti *Spent Bleaching Earth* (SBE) dan *fly ash*. Pengujian laboratorium secara berulang memerlukan waktu, biaya, serta bahan yang tidak sedikit. Oleh sebab itu, penelitian ini dilaksanakan untuk menganalisis pengaruh pemanfaatan *pre-treatment Spent Bleaching Earth* (SBE) dan *fly ash* sebagai bahan substitusi parsial semen terhadap nilai kuat tekan dan *shrinkage* beton, sekaligus memodelkan pola hubungannya

menggunakan teknik *Data Mining* berbasis perangkat lunak RapidMiner. Integrasi antara pengujian laboratorium dan pendekatan pemodelan komputasional ini bertujuan untuk menghasilkan model prediksi yang akurat serta presisi. Pemahaman yang komprehensif mengenai karakteristik mekanis material alternatif dan efisiensi pemodelannya diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata dalam pengembangan bahan konstruksi yang berkelanjutan serta mendukung konsep *green concrete* yang ramah lingkungan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, penelitian ini difokuskan pada analisis pengaruh pemanfaatan *pre-treatment Spent Bleaching Earth* (SBE) dan *fly ash* sebagai substitusi parsial semen terhadap nilai kuat tekan serta penyusutan (*shrinkage*) beton, sekaligus menguji keandalan pemodelan prediksinya menggunakan metode *Data Mining* berbasis RapidMiner.

1. Bagaimana pengaruh pemanfaatan *pre-treatment Spent Bleaching Earth* (SBE) yang dikombinasikan dengan *fly ash* sebagai substitusi parsial semen terhadap nilai kuat tekan dan penyusutan (*shrinkage*) beton mutu rencana $f'c$ 20 Mpa.
2. Bagaimana hasil pemodelan komputasional dan tingkat akurasi prediksi nilai kuat tekan beton mutu rencana $f'c$ 20 Mpa menggunakan algoritma *Decision Tree Regression* pada perangkat lunak RapidMiner Studio berbasis data eksperimen laboratorium.
3. Variasi campuran manakah yang memberikan performa eksperimen terbaik dan bagaimana kesesuaian antara nilai kuat tekan hasil pengujian laboratorium dengan nilai hasil prediksi model RapidMiner Studio.

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dipaparkan, maka tujuan penelitian ini dirumuskan untuk menjawab setiap permasalahan yang telah ditetapkan.

1. Menganalisis pengaruh pemanfaatan *pre-treatment Spent Bleaching Earth* (SBE) yang dikombinasikan dengan *fly ash* sebagai substitusi parsial semen terhadap karakteristik kuat tekan dan penyusutan (*shrinkage*) beton mutu rencana $f'c$ 20 MPa.

2. Mengembangkan model komputasional serta mengukur tingkat akurasi dan tingkat eror prediksi nilai kuat tekan beton menggunakan algoritma *Decision Tree Regression* pada RapidMiner Studio berbasis data eksperimen laboratorium.
3. Menentukan variasi campuran beton terbaik dan mengevaluasi tingkat kesesuaian antara nilai kuat tekan aktual hasil uji laboratorium dengan nilai prediksi hasil pemodelan RapidMiner Studio.

1.4 Batasan Masalah

Agar penelitian ini memiliki ruang lingkup yang jelas serta tidak menyimpang dari tujuan yang telah ditetapkan, maka batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini hanya mengkaji beton dengan mutu rencana $f'c$ 20 MPa.
2. Benda uji yang digunakan berbentuk silinder berukuran 150 mm × 300 mm.
3. Proses perawatan beton (*curing*) dilakukan secara normal di laboratorium hingga umur pengujian yang ditentukan.
4. Material penyusun beton terdiri dari semen, agregat halus, agregat kasar, air, *Spent Bleaching Earth* (SBE), dan *fly ash*.
5. SBE yang digunakan merupakan hasil *pre-treatment* yang dikombinasikan dengan *fly ash* sebagai bahan substitusi parsial semen.
6. Variasi campuran terdiri dari 4 kombinasi persentase substitusi SBE dan *fly ash* sebagai pengganti parsial semen, di mana total substitusi pozzolan berkisar antara 25% hingga 30% dan penggunaan semen murni berkisar antara 70% hingga 75% dari total berat bahan pengikat.
 - a. 5% SBE + 25% *fly ash* + 70% semen sebanyak 9 sampel disiapkan untuk pengujian kuat tekan dengan rincian 3 sampel untuk masing-masing umur 7 dan 28. Sementara itu, pengamatan penyusutan beton dilakukan terhadap 2 sampel uji *shrinkage* sesuai dengan durasi waktu yaitu 0, 1, 3, 5, 6, 24, 48, dan 72 jam.
 - b. 10% SBE + 20% *fly ash* + 70% semen sebanyak 9 sampel disiapkan untuk pengujian kuat tekan dengan rincian 3 sampel untuk masing-masing umur

- 7, dan 28. Sementara itu, pengamatan penyusutan beton dilakukan terhadap 2 sampel uji *shrinkage* sesuai dengan durasi waktu yaitu 0, 1, 3, 5, 6, 24, 48, dan 72 jam.
- c. 15% SBE + 10% *fly ash* + 75% semen sebanyak 9 sampel disiapkan untuk pengujian kuat tekan dengan rincian 3 sampel untuk masing-masing umur 7, dan 28 hari. Sementara itu, pengamatan penyusutan beton dilakukan terhadap 2 sampel uji *shrinkage* sesuai dengan durasi waktu yaitu 0, 1, 3, 5, 6, 24, 48, dan 72 jam.
 - d. 20% SBE + 10% *fly ash* + 70% semen sebanyak 9 sampel disiapkan untuk pengujian kuat tekan dengan rincian 3 sampel untuk masing-masing umur 7, dan 28 hari. Sementara itu, pengamatan penyusutan beton dilakukan terhadap 2 sampel uji *shrinkage* sesuai dengan durasi waktu yaitu 0, 1, 3, 5, 6, 24, 48, dan 72 jam.
7. Jumlah total benda uji dalam penelitian adalah 4 variasi $\times$ 2 umur $\times$ 3 sampel + 8 sampel untuk uji batas susut (*shrinkage*) + 6 sampel untuk beton normal sebagai kontrol = 38 sampel benda uji beton silinder.
 8. Parameter sifat fisik dan mekanis yang diuji mencakup nilai *slump*, pengujian *Atterberg Limits* (terutama *Plasticity Index* / IP), nilai penyusutan (*shrinkage*), dan kuat tekan beton pada umur 7 dan 28 hari.
 9. Pemodelan predikatif dan analisis korelasi dilakukan menggunakan perangkat lunak RapidMiner Studio.
 10. Attribute masukan (*input attributes*) pada pemodelan RapidMiner meliputi: persentase SBE, persentase *fly ash*, persentase semen, nilai *Plasticity Index* (IP), nilai *slump*, dan umur pengujian beton.
 11. Attribute target (*target attributes*) yang diprediksi adalah nilai Kuat Tekan (MPa) dan Penyusutan (*Shrinkage* %).
 12. Algoritma pemodelan yang diterapkan difokuskan pada metode regresi/estimasi (seperti *Linear Regression*, *Decision Tree*, atau *Random Forest*) untuk menguji keandalan dan tingkat akurasi prediksi model.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dan manfaat nyata bagi berbagai pihak sebagai berikut:

1. Bagi Peneliti, menambah wawasan dan keahlian teknis dalam mengintegrasikan pengujian fisik beton berbasis limbah industri dengan pemodelan prediktif *Data Mining* menggunakan perangkat lunak RapidMiner.
2. Bagi Akademis, memberikan referensi ilmiah mengenai inovasi penggunaan *pre-treatment Spent Bleaching Earth* (SBE) dan *fly ash* sebagai material pozzolan ramah lingkungan beserta efektivitas pemodelan *machine learning* pada teknologi beton.
3. Bagi Konsultan Perencana, menyediakan acuan teknis dan alternatif spesifikasi desain campuran beton ramah lingkungan (*green concrete*) yang memenuhi kriteria mutu rencana $f'c$ 20 MPa serta kontrol penyusutan (*shrinkage*).
4. Bagi Kontraktor, memudahkan estimasi nilai kuat tekan dan sifat fisik beton secara lebih cepat melalui model prediktif berbasis data, sehingga meminimalkan risiko keterlambatan serta biaya pengujian destruktif di lapangan.
5. Bagi Industri dan Pemerintah, mendukung kebijakan pembangunan infrastruktur berkelanjutan serta penerapan ekonomi sirkular (*circular economy*) melalui peningkatan nilai tambah (*value-added*) limbah B3 (*Spent Bleaching Earth* dan *fly ash*) menjadi material konstruksi yang aman, bernilai ekonomis, dan ramah lingkungan.