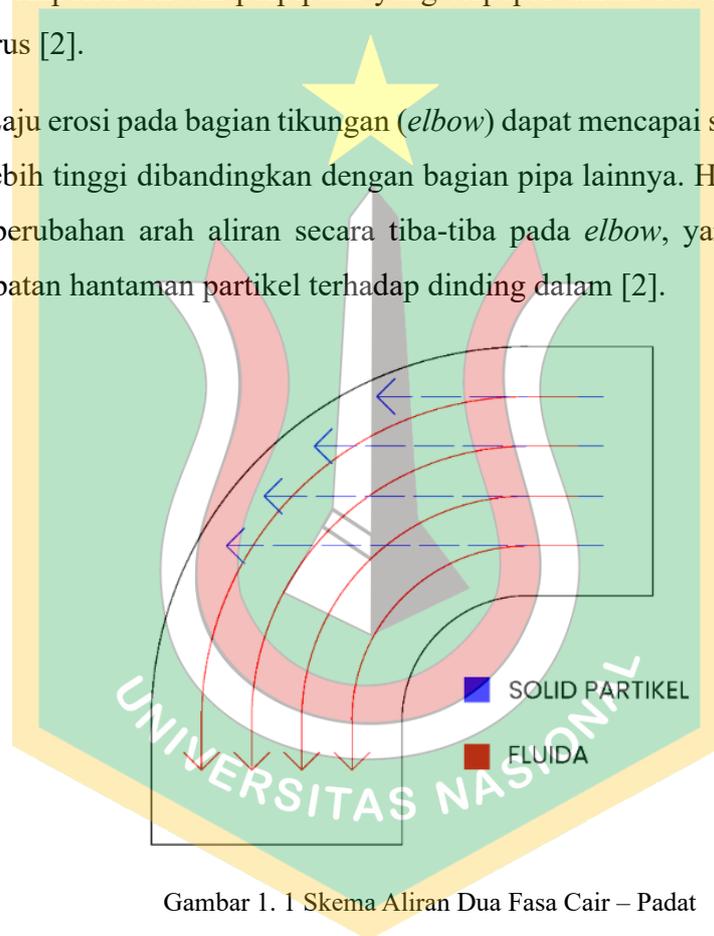


BAB 1 PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Partikel berukuran kecil yang terbawa oleh aliran fluida dapat menghantam permukaan material dan menyebabkan kerusakan dalam bentuk erosi [1]. Hantaman ini menyebabkan pengikisan secara bertahap pada permukaan material, yang seiring waktu dapat menimbulkan kerusakan serius, terutama pada komponen sistem perpipaan yang terpapar aliran dua fasa secara terus-menerus [2].

Laju erosi pada bagian tikungan (*elbow*) dapat mencapai sekitar lima puluh kali lebih tinggi dibandingkan dengan bagian pipa lainnya. Hal ini disebabkan oleh perubahan arah aliran secara tiba-tiba pada *elbow*, yang menyebabkan percepatan hantaman partikel terhadap dinding dalam [2].



Gambar 1. 1 Skema Aliran Dua Fasa Cair – Padat

Pada aliran fluida yang bergerak lurus, fenomena erosi umumnya tidak menjadi permasalahan utama karena aliran cenderung stabil dan terarah. Gambar 1.1 menjelaskan bahwa ketika fluida mengalami perubahan arah seperti pada *elbow*, partikel yang terbawa di dalam fluida tidak dapat mengikuti pola aliran yang ideal. Akibatnya, partikel menjadi tidak teratur dan menyimpang dari jalur utama [3].

Cui et al [2] dalam penelitiannya menunjukkan bahwa konfigurasi dua *elbow* 90° yang disusun secara seri dapat memperparah tingkat erosi. Dengan menggunakan aliran dua fasa cair – padat, studi tersebut menemukan bahwa distribusi laju erosi tertinggi ditemukan pada *elbow* pertama, yang disebabkan oleh percepatan aliran secara mendadak saat memasuki tikungan. Aliran yang tidak lagi simetris menyebabkan partikel padat terdorong menuju dinding luar dengan energi kinetik yang tinggi, sehingga memperbesar kemungkinan terjadinya hantaman dan kerusakan permukaan.

Selain faktor geometri, konsentrasi partikel padat dalam fluida juga turut memengaruhi intensitas erosi. Zhu et al [4] meneliti fenomena erosi pada aliran dua fasa gas – padat dengan variasi volume fraksi 3%, 6%, dan 9% dan menyatakan bahwa volume fraksi partikel padat memiliki korelasi langsung terhadap tingkat kerusakan pada dinding *elbow*. Semakin tinggi volume fraksi partikel dalam campuran, maka semakin sering dan kuat hantaman yang terjadi pada permukaan *elbow*, sehingga meningkatkan laju erosi secara signifikan.

Menanggapi permasalahan tersebut, hasil akhir dari penelitian yang dilakukan oleh Cui et al [2] mengusulkan penggunaan desain *elbow* alternatif untuk mengurangi dampak erosi. Dengan memodifikasi geometri belokan, seperti mengubah radius kelengkungan dan sudut belokan, partikel dapat diarahkan lebih halus mengikuti aliran fluida, sehingga mengurangi kemungkinan hantaman langsung ke dinding. Strategi ini dinilai efektif dalam menurunkan laju erosi berdasarkan hasil simulasi numerik yang dilakukan dalam studi tersebut.

Penelitian ini secara khusus akan mengkaji fenomena erosi akibat aliran dua fasa cair – padat yang terjadi pada pipa dua *elbow* 90° yang disusun secara seri. Fokus utama dari studi ini adalah memahami distribusi laju erosi yang diakibatkan oleh hantaman partikel padat terhadap tingkat kerusakan yang ditimbulkan. Tiga variasi volume fraksi yang digunakan adalah 5%, 7%, dan 9%, yang diadaptasi dari studi Zhu et al [4] yang meneliti korelasi fraksi padatan terhadap laju erosi.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Computational Fluid Dynamic* (CFD) dan *Discrete Phase Model* (DPM) untuk memodelkan pergerakan partikel padat dalam aliran fluida. Parameter simulasi seperti jenis fluida, densitas partikel, dan material pipa diperoleh dari studi Cui et al [2], yang telah berhasil mengimplementasikan simulasi CFD pada aliran dua fasa cair – padat dalam konfigurasi dua *elbow*.

Sebagai hasil akhir, penelitian ini difokuskan pada perancangan desain geometri *elbow* alternatif yang mampu meminimalkan laju erosi akibat aliran dua fasa. Perancangan dilakukan dengan mempertimbangkan pengaruh radius kelengkungan dan sudut tikungan *elbow*, yang dianalisis melalui metode Array Orthogonal. Parameter desain optimal diperoleh berdasarkan distribusi laju erosi, dengan tujuan mengarahkan aliran agar tidak menghantam dinding secara langsung. Hasil optimasi ini divalidasi melalui perhitungan numerik, sehingga diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata terhadap pengembangan sistem perpipaan yang lebih tahan erosi serta menawarkan solusi teknis yang aplikatif di sektor industri.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, dapat dirumuskan beberapa permasalahan yang akan diselesaikan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Aliran dua fasa cair – padat pada konfigurasi pipa dua *elbow* dapat menyebabkan erosi.
2. Pengukuran laju erosi sulit dilakukan secara langsung karena volume fraksi partikel yang tidak diketahui secara pasti pada aliran dua fasa cair – padat.
3. Tingginya laju erosi pada pipa dua *elbow* menyebabkan penurunan umur pakai material (*carbon steel*) dan potensi kegagalan sistem perpipaan.

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan utama penelitian ini adalah menganalisis dan mengkaji fenomena erosi akibat aliran dua fasa cair – padat yang terjadi pada pipa dua *elbow* 90° yang disusun secara seri menggunakan metode *Computational Fluid Dynamic*

(CFD) dan *Discrete Element Model* (DPM). Secara spesifik, penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mengetahui penyebab erosi aliran dua fasa cair – padat pada konfigurasi pipa dua *elbow* melalui simulasi numerik CFD – DPM.
2. Mengidentifikasi pengaruh volume fraksi partikel terhadap laju erosi pada aliran dua fasa cair – padat melalui pendekatan simulasi numerik CFD – DPM sebagai alternatif pengukuran yang sulit dilakukan secara langsung.
3. Merancang desain optimasi geometri pipa dua *elbow* yang mampu meminimalkan laju erosi berdasarkan hasil simulasi numerik CFD – DPM.

1.4. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam berbagai aspek, baik bagi pengembangan diri mahasiswa, kemajuan akademik, maupun penerapan praktis di bidang teknik yang relevan.

1. Manfaat bagi mahasiswa

Penelitian ini memberikan pengalaman langsung dalam penerapan metode simulasi numerik *Computational Fluid Dynamic* (CFD) dan model *Discrete Phase Model* (DPM), sehingga dapat meningkatkan pemahaman praktis dan kemampuan analisis mahasiswa dalam menghadapi permasalahan teknik nyata, khususnya yang berkaitan dengan fenomena aliran dua fasa dan erosi.

2. Manfaat bagi dunia akademik

Penelitian ini dapat menjadi referensi tambahan dalam pengembangan kajian di bidang mekanika fluida. Selain itu, hasilnya berpotensi memperkaya literatur akademik mengenai pemodelan numerik pada geometri kompleks seperti *elbow*, serta menjadi dasar untuk penelitian lanjutan yang lebih spesifik.

3. Manfaat bagi industri dan rekayasa teknik

Studi ini memberikan kontribusi dalam bentuk prediksi dini terhadap risiko erosi pada sistem perpipaan industri, khususnya di sektor energi, proses kimia, dan pertambangan. Dengan memahami pola dan lokasi erosi, hasil penelitian ini dapat digunakan untuk perancangan sistem perpipaan yang lebih andal dan efisien, serta membantu mengurangi biaya perawatan dan risiko kegagalan peralatan.

1.5. Batasan Masalah

Dalam pelaksanaan penelitian ini, terdapat beberapa batasan yang perlu ditetapkan untuk menjaga fokus dan kedalaman analisis agar sesuai dengan ruang lingkup yang dapat dicapai. Batasan ini juga dimaksudkan untuk menyederhanakan kompleksitas fenomena fisik yang dikaji, serta menyesuaikan dengan keterbatasan waktu, perangkat lunak, dan sumber daya yang tersedia. Oleh karena itu, penelitian ini dibatasi pada beberapa hal berikut:

1. Simulasi aliran fluida dua fasa hanya difokuskan pada geometri *elbow* 90° standar dengan dimensi tertentu, tanpa mempertimbangkan variasi bentuk atau ukuran *elbow* lainnya.
2. Kajian erosi dibatasi pada kondisi aliran dua fasa cair – padat dalam pipa berdinding kaku, dengan asumsi bahwa interaksi partikel dilakukan secara numerik melalui metode CFD – DPM tanpa mempertimbangkan deformasi elastis material dinding.
3. Optimasi desain perpipaan difokuskan hanya pada modifikasi geometri *elbow* 90° tanpa mempertimbangkan perubahan material pipa atau penggunaan lapisan khusus.
4. Simulasi ini dilakukan dengan asumsi dinding pipa halus (tanpa kekasaran permukaan), sehingga efek turbulensi mikro atau gangguan aliran akibat kekasaran belum diperhitungkan.
5. Penelitian ini hanya difokuskan pada aliran dua fasa cair – padat, sehingga fenomena erosi akibat aliran dua fasa jenis lain (misalnya gas – padat atau gas – cair) tidak dibahas.

1.6. Sistematika Penulisan

Untuk memberikan gambaran yang jelas dan sistematis mengenai isi dari tugas akhir ini, maka penulisan laporan disusun ke dalam beberapa bab yang terstruktur. Setiap bab disusun dengan tujuan untuk menguraikan secara bertahap mulai dari latar belakang permasalahan, landasan teori, metodologi penelitian, hasil dan pembahasan, hingga kesimpulan dan saran. Adapun sistematika penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

BAB 1 : PENDAHULUAN

Bab 1 berisi uraian mengenai latar belakang permasalahan, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, serta sistematika penulisan. Tujuannya adalah untuk memberikan gambaran umum mengenai konteks dan arah penelitian yang dilakukan.

BAB 2 : TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas teori-teori yang relevan sebagai dasar ilmiah dalam mendukung penelitian. Tinjauan pustaka mencakup konsep dasar aliran dua fasa, fenomena erosi pada pipa, metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD) dan *Discrete Phase Model* (DPM), serta studi-studi terdahulu yang berkaitan dengan topik penelitian.

BAB 3 : METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan langkah-langkah yang digunakan dalam melakukan penelitian, mulai dari perancangan geometri, penentuan kondisi batas, pemodelan fisik dan numerik, hingga proses simulasi dan analisis data menggunakan perangkat lunak CFD. Metodologi disusun agar penelitian dapat di replikasi dan diuji validitasnya.

BAB 4 : HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil simulasi numerik serta analisis yang dilakukan terhadap karakteristik aliran dan pola erosi pada *elbow* 90° . Hasil kemudian dibandingkan dan dibahas dengan mengacu pada teori dan studi sebelumnya untuk memperoleh interpretasi yang mendalam terhadap fenomena yang diamati.

BAB 5 : KESIMPULAN DAN SARAN

Bab terakhir memuat kesimpulan penelitian yang telah dilakukan serta saran yang dapat diberikan untuk pengembangan penelitian selanjutnya. Kesimpulan disusun berdasarkan hasil dan pembahasan yang telah dipaparkan pada bab sebelumnya.

