

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

SPAM Jatisari dibangun dan dioperasikan oleh PT Widya Tirta Selaras berdasarkan skema *Build Operate Transfer* (BOT) selama 20 tahun terhitung sejak tahun 2019 hingga 2038. Berdasarkan dokumen profil perusahaan PT Widya Tirta Selaras (2019), fasilitas ini memiliki kapasitas produksi air bersih terpasang sebesar 200 liter per detik yang dihasilkan melalui rangkaian proses pengolahan air baku menjadi air bersih di Instalasi Pengolahan Air (IPA).

Bangunan intake merupakan komponen pertama dan paling menentukan dalam rangkaian SPAM, karena berfungsi menyadap air baku dari badan sungai sebelum dialirkan menuju IPA. Menurut Triatmodjo (2008), lokasi intake idealnya memenuhi beberapa kriteria, yakni ketersediaan debit yang mencukupi sepanjang tahun, kualitas air baku yang layak diolah, minim risiko sedimentasi, serta relatif aman dari gaya hidrodinamika yang dapat merusak struktur.

Intake SPAM Jatisari termasuk kategori *free intake*, yaitu tipe bangunan penyadap yang mengambil air langsung dari badan sungai tanpa dilengkapi bendung pengarah untuk mengatur muka air maupun arah aliran menuju mulut intake. Tipe ini dipilih perusahaan karena pertimbangan biaya konstruksi yang lebih ekonomis serta karakteristik debit sungai yang masih tergolong memadai. Namun konsekuensinya, kinerja intake menjadi sangat bergantung pada pola aliran alami sungai di sekitar lokasi penyadapan, termasuk pengaruh tikungan yang berada tepat di dekatnya.

Sungai Cikeas Hulu yang menjadi sumber air baku SPAM Jatisari melintasi wilayah Kabupaten Bekasi dengan pola debit yang berfluktuasi cukup signifikan sepanjang tahun. Permasalahan menjadi lebih kompleks karena intake SPAM Jatisari berada tepat di sekitar segmen sungai yang memiliki tikungan. Berdasarkan prinsip hidraulika saluran terbuka (Chow, 1959; Chaudhry, 2008),

aliran yang melewati tikungan akan mengalami distribusi kecepatan yang tidak merata akibat gaya sentrifugal, di mana kecepatan aliran cenderung lebih tinggi pada sisi luar tikungan sehingga rawan terjadi erosi tebing, sementara pada sisi dalam tikungan kecepatan aliran melambat sehingga material sedimen lebih mudah mengendap. Intake SPAM Jatisari berada pada sisi dalam tikungan Sungai Cikeas, sehingga menjadikannya rentan terhadap akumulasi sedimen di sekitar mulut intake, khususnya pada bagian *bar screen* bambu yang oleh operator lapangan biasa disebut bubu.

Fenomena pengendapan sedimen pada sisi dalam tikungan sungai sesungguhnya telah lama dikaji dalam bidang rekayasa sungai melalui konsep aliran sekunder (*secondary flow*) yang pertama kali dijelaskan secara sistematis oleh Rozovskii (1957) dan kemudian dikembangkan lebih lanjut oleh peneliti-peneliti berikutnya seperti Blanckaert dan de Vriend (2004). Aliran sekunder timbul akibat interaksi antara gaya sentrifugal dan gradien tekanan pada penampang tikungan, sehingga membentuk pola aliran spiral yang mengangkut material dasar sungai dari sisi luar menuju sisi dalam tikungan. Pola aliran spiral inilah yang pada akhirnya menjelaskan mengapa material sedimen halus cenderung terkumpul di sekitar mulut intake yang berada pada sisi dalam tikungan Sungai Cikeas, sekaligus menjadi dasar teoretis mengapa pemilihan lokasi intake pada segmen sungai berkelok harus mempertimbangkan posisi melintang secara cermat.

Sebagian besar kajian mengenai pola aliran pada tikungan sungai yang telah dipublikasikan umumnya membahas fenomena erosi tebing luar dan pembentukan gosong pasir pada sisi dalam tikungan secara umum, tanpa dikaitkan langsung dengan kinerja bangunan intake air baku yang berada pada segmen tikungan tersebut. Penelitian mengenai interaksi antara pola aliran tikungan sungai dengan kinerja operasional intake SPAM, khususnya menggunakan pendekatan *Computational Fluid Dynamics* (CFD) tiga dimensi yang divalidasi dengan data sekunder *Manning-Strickler*, relatif masih terbatas ditemukan pada studi kasus di wilayah Jawa Barat.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut secara mendasar, diperlukan pemahaman yang lebih mendalam mengenai karakteristik hidrodinamika aliran Sungai Cikeas di sekitar lokasi intake, khususnya untuk mengidentifikasi zona kecepatan rendah dan zona turbulensi tinggi yang diduga menjadi penyebab utama akumulasi sedimen. Pendekatan pengukuran langsung di lapangan menjadi kendala tersendiri karena PT Widya Tirta Selaras belum memiliki instrumen pengukuran kecepatan aliran secara real time, sehingga data primer terkait pola aliran tiga dimensi di sekitar intake sulit diperoleh secara langsung. Simulasi numerik dengan pendekatan *Computational Fluid Dynamics* (CFD) dipilih sebagai alternatif yang lebih efisien, karena mampu memvisualisasikan pola aliran secara rinci dalam ruang tiga dimensi tanpa memerlukan pembangunan model fisik berskala yang membutuhkan biaya dan waktu jauh lebih besar (Versteeg & Malalasekera, 2007).

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang menyangkut pola aliran sungai dengan pendekatan CFD (*Computational Fluid Dynamics*) memerlukan data hidraulika. Oleh karena itu, rumusan masalahnya adalah:

1. Bagaimana menentukan aliran yang seragam (tenang) menggunakan pendekatan persamaan *Manning-Strickler* dengan metode literasi *Newton-Raphson* pada ketiga titik *cross section* Sungai Cikeas yang akan menjadi dasar usulan posisi intake yang lebih optimal?
2. Bagaimana menentukan angka turbulensi air rendah berdasarkan simulasi CFD (*Computational Fluid Dynamics*) ANSYS pada ketiga titik *cross section* Sungai Cikeas sebagai dasar usulan posisi Intake optimal SPAM Jatisari?
3. Dimanakah posisi optimal Intake SPAM Jatisari yang memiliki memiliki aliran seragam (tenang), morfologi sungai lurus, dan zona turbulensi

aliran yang relatif lebih rendah di antara ketiga titik *cross section* Sungai Cikeas berdasarkan pemodelan pola aliran air 3D?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Mendapatkan aliran yang seragam (tenang) menggunakan pendekatan persamaan *Manning-Strickler* dengan metode literasi *Newton-Raphson* pada ketiga titik *cross section* Sungai Cikeas.
2. Mendapatkan angka turbulensi air rendah berdasarkan simulasi CFD (*Computational Fluid Dynamics*) *ANSYS* pada ketiga titik *cross section* Sungai Cikeas.
3. Menentukan posisi optimal Intake SPAM Jatisari yang memiliki aliran seragam (tenang), morfologi sungai lurus, dan zona turbulensi aliran yang relatif lebih rendah di antara ketiga titik *cross section* Sungai Cikeas berdasarkan pemodelan pola aliran air 3D.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian Tugas Akhir ini, yang dilaksanakan berdasarkan pengalaman magang di PT Widya Tirta Selaras, diharapkan memberikan manfaat bagi tiga pihak utama, yaitu mahasiswa sebagai peneliti, Politeknik Pekerjaan Umum sebagai institusi pendidikan, dan PT Widya Tirta Selaras sebagai mitra magang.

1.4.1 Manfaat bagi Peneliti

Kegiatan penelitian ini juga memberikan manfaat bagi peneliti, antara lain:

1. Meningkatkan pemahaman dan keterampilan dalam melakukan analisis hidraulik saluran terbuka menggunakan pendekatan persamaan *Manning-Strickler* dengan metode *Newton-Raphson* serta perhitungan kemiringan energi untuk kondisi aliran seragam.

2. Meningkatkan kemampuan dalam melakukan simulasi numerik menggunakan perangkat lunak *ANSYS Fluent* untuk analisis aliran sungai sebagai kompetensi tambahan di bidang BIM Bangunan Air.
3. Mengaplikasikan ilmu yang diperoleh selama perkuliahan, khususnya mata kuliah Permodelan Fisik Sumber Daya Air, Hidrologi, Hidrolika, Rekayasa Sungai dan Pengendali Banjir dan BIM Bangunan Air, ke dalam permasalahan nyata di industri.
4. Memperoleh pengalaman dalam menyusun karya ilmiah berupa Tugas Akhir sesuai dengan pedoman yang berlaku di Politeknik Pekerjaan Umum.

1.4.2 Manfaat bagi Institusi Pendidikan

Kegiatan penelitian ini juga memberikan manfaat bagi institusi pendidikan, antara lain:

1. Menjadi bahan referensi bagi mahasiswa Program Studi Diploma III Teknologi Konstruksi Bangunan Air yang akan mengambil *topik* serupa terkait analisis pola aliran pada intake sungai menggunakan CFD.
2. Memperkuat kerjasama antara Politeknik Pekerjaan Umum dengan dunia industri (PT Widya Tirta Selaras) dan instansi pemerintah (BBWS Ciliwung Cisadane) dalam penyelesaian permasalahan teknis di lapangan.
3. Menunjukkan bahwa lulusan Politeknik Pekerjaan Umum mampu menghasilkan karya ilmiah terapan yang bermanfaat bagi industri konstruksi dan sumber daya air.

1.4.3 Manfaat bagi Perusahaan

Kegiatan penelitian ini juga memberikan manfaat bagi Perusahaan mitra, antara lain:

1. Memperoleh pemahaman ilmiah tentang pola aliran Sungai Cikeas di lokasi intake melalui visualisasi CFD (*Computational Fluid Dynamics*) (kontur kecepatan, turbulensi) yang selama ini belum tersedia.

2. Mendapatkan data kuantitatif tentang penyebab tingginya sedimentasi di intake eksisting melalui identifikasi zona stagnasi dan turbulensi dari hasil simulasi.
3. Memperoleh usulan posisi intake alternatif yang optimal berbasis bukti ilmiah berdasarkan hasil simulasi, lengkap dengan pendekatan parameter hidrolika pendukung.
4. Memiliki dokumen teknis sebagai bahan pertimbangan dalam perencanaan perbaikan sistem intake di masa mendatang.

1.4.4 Manfaat bagi Masyarakat Umum

Kegiatan penelitian ini juga memberikan manfaat bagi masyarakat umum, antara lain:

1. Mendukung ketersediaan pasokan air bersih bagi masyarakat pelanggan PDAM Tirta Patriot yang bekerja sama dengan SPAM Jatisari, karena posisi intake yang optimal berpotensi meminimalisir gangguan produksi air akibat penyumbatan *bar screen* oleh sedimen.
2. Menjadikan bahan pertimbangan dasar ilmiah bagi peningkatan infrastruktur pengolahan air minum di wilayah Kota Bekasi, sehingga masyarakat mendapatkan pelayanan air bersih yang lebih stabil.
3. Memberikan kontribusi ilmu pengetahuan mengenai karakteristik pola aliran Sungai Cikeas, sehingga dapat dimanfaatkan untuk referensi awal dalam pengelolaan sumber daya air secara lebih berkelanjutan.

1.5 Batasan Masalah

Untuk menjaga fokus dan kedalaman penelitian agar sesuai dengan jangka waktu penyusunan Tugas Akhir, batasan masalah yang ditetapkan adalah sebagai berikut:

1. Pendekatan menggunakan persamaan *Manning-Strickler* dengan metode *Newton-Raphson* terhadap sungai yang diasumsikan sebagai saluran terbuka berdasarkan DED Pengendalian Banjir Kali Cileungsi dan Kali Cikeas Tahun 2020 pada kanan dan kiri dinding sungai terdapat *secant pile* dengan aliran seragam berdasarkan visualisasi penampang yang lurus.
2. Simulasi CFD (*Computational Fluid Dynamics*) dilakukan hanya terhadap geometri alur Sungai Cikeas Hulu pada kondisi eksisting, mencakup tiga titik *cross section* tanpa menyertakan geometri bangunan intake, *bar screen* (bubu), maupun struktur sipil lain di dalam domain komputasi.
3. Simulasi mencakup tiga skenario debit berdasarkan hasil analisis frekuensi periode lima tahun terhadap data debit harian BBWS Ciliwung Cisadane periode 2020-2024.
4. Data mentahan geometri sungai (*cross section* dan *long section*) serta data hidrologi (debit dan tinggi muka air) dari BBWS Ciliwung Cisadane No. Surat PA0102/B/Bbws4/2026/247 tanggal 5 Mei 2026 tidak dilampirkan karena dokumen bersifat rahasia.
5. Koefisien kekasaran *Manning* ditetapkan sebesar $n = 0,035$, mengacu pada klasifikasi Chow (1959) untuk kategori natural streams pada kondisi dasar sungai berbatu dan bervegetasi, dengan rentang nilai 0,030-0,040, di mana nilai tengah dipilih sebagai pendekatan yang representatif dan konservatif.

6. Pendekatan ini tidak menghitung debit maupun volume air yang tertangkap oleh struktur intake, karena geometri intake tidak dimodelkan dalam domain simulasi.
7. Pendekatan ini tidak memperhitungkan pengaruh sumbatan sampah (debris) terhadap pola aliran maupun kinerja bubu dan angkutan sedimen (sediment transport) secara detail dan matematis. Potensi permasalahan sedimentasi hanya didekati secara tidak langsung melalui identifikasi zona kecepatan yang relatif rendah dan intensitas turbulensi yang tinggi dari hasil simulasi CFD (*Computational Fluid Dynamics*).
8. Model turbulensi yang digunakan adalah *Reynolds-Averaged Navier-Stokes* (RANS) *k-epsilon Standard* dengan perlakuan dinding *Standard Wall Function*. Model ini dipilih atas pertimbangan kestabilan numerik dan waktu komputasi yang lebih singkat dibandingkan model turbulensi yang lebih kompleks, sehingga sesuai dengan kemampuan komputasi yang tersedia dan jadwal pelaksanaan penelitian selama periode magang 19 Januari – 18 Juli 2026, tanpa mengurangi validitas hasil untuk kebutuhan analisis komparatif pada jenjang Diploma III..
9. Pendekatan simulasi CFD menggunakan domain tiga dimensi dengan kondisi aliran tunak (steady-state). Permukaan bebas aliran didekati dengan metode *rigid-lid*, yaitu permukaan atas domain ditetapkan sebagai bidang simetri, sehingga simulasi dua fase (*Volume of Fluid*) tidak diperlukan. Pendekatan ini valid untuk kondisi aliran subkritis dengan bilangan *Froude* kurang dari satu sesuai hasil perhitungan *Manning-Strickler* pada seluruh skenario debit.
10. Parameter yang dianalisis dari hasil simulasi CFD (*Computational Fluid Dynamics*) meliputi kontur kecepatan aliran yang seragam (tenang) dan intensitas turbulensi tiga dimensi pada ketiga *cross section* untuk menentukan posisi yang paling menguntungkan bagi kinerja intake.
11. Validasi hasil simulasi *ANSYS Fluent* dilakukan dengan membandingkan nilai kecepatan aliran terhadap pendekatan persamaan *Manning-Strickler*

dengan metode *Newton-Raphson*, tidak menggunakan data primer pengukuran lapangan, mengingat perusahaan belum memiliki instrumen pengukuran kecepatan aliran sungai secara real time. Toleransi selisih validasi ditetapkan sebesar 10-15% mengacu pada ASME V&V 20-2009 (*Standard for Verification and Validation in Computational Fluid Dynamics*).

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan Tugas Akhir ini disusun untuk memudahkan pembaca memahami alur penelitian secara menyeluruh, dengan uraian sebagai berikut.

BAB I. PENDAHULUAN, berisi latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA, berisi teori dasar hidraulika saluran terbuka, konsep intake dan free intake, teori tikungan sungai, dasar-dasar *Computational Fluid Dynamics*, serta penelitian terdahulu yang relevan.

BAB III. METODE PENELITIAN, berisi bagan alir penelitian, waktu dan tempat penelitian, metode pengumpulan data, tahapan pemodelan geometri dan *meshing*, pengaturan simulasi *ANSYS Fluent*, serta metode analisis dan validasi data.

BAB IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN, berisi hasil perhitungan hidraulika *Manning-Strickler*, hasil simulasi CFD (*Computational Fluid Dynamics*) pada tiga skenario debit, hasil validasi, serta pembahasan mengenai posisi intake yang diusulkan.

BAB V. PENUTUP, berisi kesimpulan yang menjawab rumusan masalah serta saran bagi PT Widya Tirta Selaras dan penelitian selanjutnya.

