

17-15-

10

Aliran Kanal Terbuka

Aliran kanal-terbuka melibatkan aliran-aliran dari cairan di dalam kanal atau saluran yang tidak terisi sepenuhnya. Terdapat permukaan bebas antara fluida yang mengalir (biasanya air) dan fluida di atasnya (biasanya udara atmosfer). Gaya penggerak utama dari aliran-aliran ini adalah berat fluida—gaya gravitasi fluida untuk mengalir turun. Pada kondisi aliran tunak dan berkembang penuh, komponen dari gaya berat yang searah dengan aliran disetimbangkan oleh gaya geser antara fluida dan permukaan kanal yang sama besarnya dan berlawanan arah. Pada situasi aliran tidak tunak atau tidak berkembang penuh, inersia dari fluida yang mengalir juga penting.

Aliran seperti itu berbeda dengan aliran pipa yang dibahas dalam **Bab 8** dalam hal tidak terdapatnya gaya tekanan sebagai penggerak dari fluida melalui kanal atau saluran. Upaya apapun untuk memberikan gradien tekanan dalam arah aliran akan gagal karena efek-efek inersia dan viskos dari gas (atmosfer) di atas fluida yang mengalir dapat diabaikan. Untuk aliran kanal-terbuka yang tunak, berkembang penuh, distribusi tekanan di dalam fluida semata-mata hidrostatis.

Sebagaimana kita ketahui aliran kanal-terbuka sangat penting dalam kehidupan sehari-hari. Drainase alamiah dari air melalui berbagai sistem sungai dan anak-anak sungai adalah suatu contoh yang kompleks dari aliran kanal-terbuka. Meskipun geometri sistem aliran air ini sangat kompleks, sifat dari alirannya memiliki arti penting secara ekonomi, ekologi dan rekreasional. Contoh lain dari aliran kanal-terbuka mencakup aliran air hujan di selokan-selokan rumah; aliran dalam kanal-kanal, parit-parit drainase, dan selokan-selokan di sepanjang jalan; arus kecil dari genangan yang mengalir melewati lapangan parkir; dan aliran pada kanal luncur dari kendaraan air di taman-taman hiburan.

Jelas bahwa karakter, gambaran, dan kompleksitas dari geometri aliran kanal-terbuka sangat beragam. Geometri yang membatasi aliran di dalam gorong-gorong yang terpasang dengan kemiringan yang konstan dan terisi separuh penuh jauh lebih sederhana daripada geometri sungai Mississippi

Aliran kanal-terbuka sangat penting dalam kehidupan sehari-hari

dengan bentuk penampang yang bervariasi, belokan, kemiringan dasar yang bervariasi, serta karakter dari permukaan yang membatasinya. Karena kompleksitas seperti ini, kebanyakan hasil-hasil dari aliran kanal-terbuka didasarkan pada korelasi yang diperoleh dari model dan eksperimen skala penuh. Informasi tambahan dapat diperoleh dari berbagai hasil analitis dan numerik.

Tujuan dari bab ini adalah untuk mengkaji konsep-konsep aliran kanal-terbuka. Karena banyaknya dan bervariasinya bahan yang ada, hanya pengenalan ringkas dari topik ini yang akan dibahas. Informasi lebih lanjut dapat diperoleh dari referensi yang ditunjukkan.

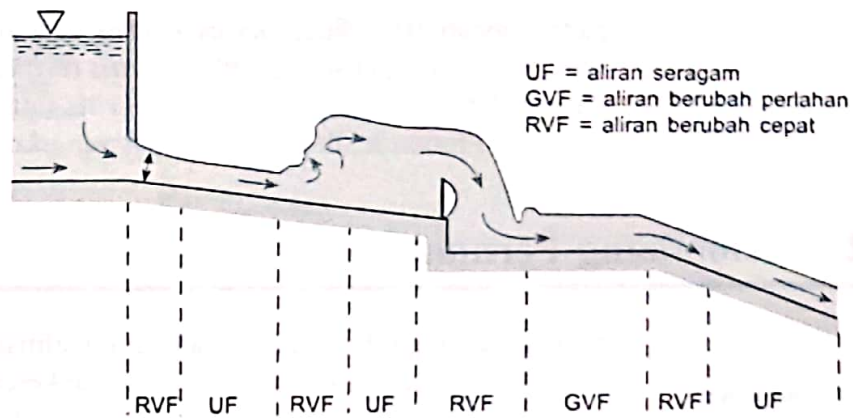
10.1 Karakteristik Umum Aliran Kanal-terbuka

Dalam pembahasan kita mengenai aliran pipa (Bab 8), kita jumpai bahwa ada banyak cara untuk mengklasifikasikan sebuah aliran—sedang berkembang, berkembang penuh, laminar, turbulen, dan sebagainya. Untuk aliran kanal-terbuka, adanya permukaan bebas menambah jenis aliran. Kebebasan lebih yang memungkinkan fluida memilih lokasi dan konfigurasi permukaan bebasnya (karena fluida tersebut tidak mengisi penuh pipa atau salurannya) memungkinkan terjadinya fenomena penting di dalam aliran kanal-terbuka yang tidak mungkin terjadi pada aliran pipa. Beberapa klasifikasi dari aliran tersebut dibahas di bawah ini.

Aliran kanal-terbuka mempunyai macam-macam karakteristik.

Perilaku kedalaman fluida, y , bervariasi terhadap waktu, t , dan jarak sepanjang kanal, x , digunakan untuk mengklasifikasikan sebuah aliran. Sebagai contoh, aliran *tunak* atau *tidak tunak* tergantung pada apakah kedalaman pada lokasi yang diberikan berubah atau tidak berubah menurut waktu. Beberapa aliran tak tunak dapat dipandang sebagai aliran tunak jika kerangka acuan dari pengamat diubah. Sebagai contoh, suatu gelombang air laut yang mengalir naik ke sungai adalah tidak tunak untuk pengamat yang berdiri di bantaran sungai, namun merupakan aliran tunak untuk pengamat yang bergerak sepanjang bantaran sungai dengan kecepatan yang sama dengan muka gelombang. Aliran-aliran lain adalah tidak tunak, walau bagaimanapun kerangka acuan yang digunakan. Gelombang yang ditimbulkan oleh angin pada danau yang sangat tergantung waktu dan sangat kompleks, termasuk dalam kategori ini. Dalam buku ini kita hanya akan membahas aliran kanal-terbuka yang tunak.

Sebuah aliran kanal-terbuka digolongkan sebagai aliran seragam/*uniform flow* (UF) jika kedalaman alirannya tidak bervariasi sepanjang kanal ($dy/dx = 0$). Sebaliknya *aliran tidak seragam* atau *aliran bervariasi* jika kedalaman bervariasi dengan jarak ($dy/dx \neq 0$). Aliran tidak seragam lebih lanjut diklasifikasikan atas aliran yang bervariasi secara cepat/*rapidly varying flow* (RVF) jika kedalaman berubah sangat cepat dalam jarak yang relatif pendek; $dy/dx \sim 1$. Aliran yang bervariasi secara bertahap/*Gradually varying flow* (GVF) adalah aliran yang kedalamannya berubah secara perlahan dengan jarak sepanjang kanal; $dy/dx \ll 1$. Contoh aliran jenis ini adalah seperti yang diilustrasikan dalam Gambar 10.1. Arti penting relatif dari berbagai jenis gaya yang terlibat (tekanan, berat, geseran dan inersia) berbeda-beda untuk setiap jenis aliran yang berbeda.



■ GAMBAR 10.1 Klasifikasi aliran kanal-terbuka.

Seperti halnya untuk suatu bentuk geometri aliran apapun, aliran kanal-terbuka mungkin *laminar*, *transisi* atau *turbulen*, tergantung pada berbagai kondisi yang terlibat. Jenis aliran mana yang terjadi tergantung pada bilangan Reynolds, $Re = \rho V R_h / \mu$, di mana V adalah kecepatan rata-rata fluida dan R_h adalah jari-jari hidrolis dari kanal (lihat Subbab 10.4). Aturan umumnya adalah bahwa aliran kanal-terbuka laminar jika $Re < 500$, turbulen jika $Re > 12.500$, dan selain itu transisi. Nilai-nilai dari bilangan Reynolds yang menjadi batas pembagi ini hanyalah perkiraan— pengetahuan yang tepat mengenai bentuk geometri kanal diperlukan untuk memperoleh nilai yang spesifik. Karena kebanyakan aliran kanal-terbuka melibatkan air (yang memiliki viskositas cukup kecil) dan memiliki panjang karakteristik yang relatif besar, maka adalah hal yang tidak biasa mendapati suatu aliran kanal-terbuka dalam kondisi laminar. Sebagai contoh, aliran dari air pada suhu 50°F ($\nu = 1,41 \times 10^{-5} \text{ ft}^2/\text{s}$) dengan kecepatan rata-rata $V = 1 \text{ ft/s}$ di dalam sebuah sungai dengan jari-jari hidrolis $R_h = 10 \text{ ft}$ mempunyai $Re = V R_h / \nu = 7,1 \times 10^5$. Aliran tersebut turbulen. Namun demikian, aliran dalam lapisan air tipis yang menuruni jalan dengan kecepatan rata-rata $V = 0,25 \text{ ft/s}$ sehingga $R_h = 0,02 \text{ ft}$ (dalam kasus seperti ini jari-jari hidrolis kira-kira sama dengan kedalaman fluida; lihat Subbab 10.4) memiliki $Re = 355$. Alirannya laminar.

Dalam beberapa kasus, *aliran terstratifikasi* menjadi penting. Dalam situasi seperti itu, lapisan-lapisan dari dua atau lebih fluida dengan kerapatan yang berbeda mengalir di dalam sebuah kanal. Lapisan minyak di atas air adalah salah satu contoh dari jenis aliran ini. Seluruh aliran kanal-terbuka yang dibahas dalam buku ini adalah *aliran homogen*. Artinya, fluida seluruhnya memiliki sifat yang seragam.

Aliran kanal-terbuka melibatkan sebuah permukaan bebas yang dapat berdeformasi dari konfigurasi tak terganggu yang relatif rata sehingga membentuk sebuah gelombang. Gelombang serupa itu bergerak melintasi permukaan dengan kecepatan yang tergantung pada ukurannya (tinggi dan panjangnya) dan sifat-sifat dari kanal (kedalaman, kecepatan fluida dan lain-lain). Karakter dari sebuah aliran kanal-terbuka dapat sangat tergantung pada seberapa cepat fluida mengalir relatif terhadap berapa cepat suatu gelombang permukaan tertentu bergerak relatif terhadap fluida. Parameter tak berdimensi yang menggambarkan ini disebut sebagai bilangan Froude, $Fr = V/(g \ell)^{1/2}$, di mana ℓ adalah panjang karakteristik yang tepat dari aliran. Parameter tak berdimensi ini telah diperkenalkan pada Bab 7, dan dibahas lebih lengkap

Bilangan Froude penting dalam aliran-aliran kanal-terbuka.

214 ■ Bab 10 / Aliran Kanal Terbuka

pada Subbab 10.2. Suatu kasus khusus dari aliran dengan bilangan Froude satu, $Fr = 1$, disebut sebagai *aliran kritis (critical flow)*. Jika bilangan Froude kurang dari 1, alirannya disebut *subkritis (atau tenang)*. Sedangkan dengan bilangan Froude lebih dari 1 disebut *superkritis (atau cepat)*.