

## **BAB III**

### **LANDASAN TEORI**

#### **A. TINJAUAN UMUM**

Hidrolika adalah bagian dari ilmu yang mempelajari perilaku air baik dalam keadaan diam atau yang disebut hidrostatis maupun dalam keadaan bergerak atau disebut hidrodinamika. Untuk mengetahui karakteristik suatu aliran air sungai dengan lebar penampang yang besar memerlukan pendekatan beberapa pengamatan dengan melakukan pengukuran. Selanjutnya dilakukan kegiatan analisis terhadap fenomena aliran yang terjadi dengan menggunakan model tertentu. Model merupakan penyederhanaan dari suatu realita atau kondisi sesungguhnya.

Menurut Indarto 2010 ada berbagai cara untuk mengklasifikasikan model. Menurut bentuknya, model terdiri atas model fisik (*Physical Model*), model analog dan model matematis.

Beberapa masalah teknik yang berhubungan dengan aliran fluida kadang-kadang sulit atau tidak bisa diselesaikan secara analitis. Untuk itu diperlukan suatu percobaan atau pengamatan untuk menyelesaikan masalah tersebut. Pengamatan langsung di lapangan untuk masalah atau pekerjaan yang besar; seperti sungai, pelabuhan atau bangunan pelimpah bendungan akan memakan biaya besar dan waktu yang lama. Untuk menghindari kendala tersebut pengamatan bisa dilakukan dengan membuat bentuk miniature model.

Suatu alur yang panjang di atas permukaan bumi tempat mengalirnya air yang berasal dari hujan disebut alur sungai. Perpaduan antara alur sungai dan aliran air di dalamnya disebut sebagai sungai. Dalam perjalanannya dari hulu menuju hilir, aliran sungai secara berangsur-angsur menyatu dengan banyak sungai lainnya. Penggabungan ini membuat tubuh sungai menjadi semakin besar. Apabila suatu sungai mempunyai lebih dari dua cabang, maka sungai yang daerah pengaliran, panjang dan volume airnya paling besar disebut sebagai sungai utama (*main river*). Sedangkan cabang yang lain disebut anak sungai (*tributary*). Suatu

sungai kadang-kadang sebelum aliran airnya mencapai laut, sungai tersebut membentuk beberapa cabang yang disebut cabang sungai (*enfluent*).

Sifat-sifat suatu sungai dipengaruhi oleh luas, dan bentuk daerah pengaliran serta kemiringannya. Topografi suatu daerah sangat berpengaruh terhadap morfologi sungai yang ada, daerah dengan bentuk pegunungan pendek-pendek mempunyai daerah pengaliran yang tidak luas dan kemiringan dasarnya besar. Sebaliknya daerah dengan kemiringan dasarnya kecil biasanya mempunyai daerah pengaliran yang luas. Hal-hal yang berkaitan erat dengan morfologi sungai antara lain bentuk aliran, dimensi aliran, bentuk badan aliran, kemiringan saluran, daya tampung, dan sifat alirannya. Adapun pengaruh dari morfologi sungai ini berkaitan dengan keadaan pola aliran sungai (Junaidi, 2014).

Pola aliran pada sungai dapat berubah diakibatkan oleh perubahan morfologi sungai yang diikuti dengan perubahan karakteristik sungai. Salah satu penyebabnya yaitu adanya bangunan atau pilar yang dibangun pada badan sungai.

## **B. ALIRAN AIR DI SALURAN TERBUKA**

Saluran terbuka merupakan saluran air dimana air mengalir dengan muka air yang bebas. Pada semua titik di sepanjang saluran, tekanan air di permukaan air adalah sama (tekanan atmosfer). Pada saluran terbuka variabel aliran sangat tidak teratur baik terhadap ruang ataupun terhadap waktu. Variabel tersebut berupa tampang lintang saluran, kekasaran, kemiringan saluran, belokan, debit aliran, dan sebagainya.

Menurut Chow (1992:17) dalam Mulyandari (2010), Saluran yang mengalirkan air dengan suatu permukaan bebas disebut saluran terbuka. Menurut asalnya saluran dapat digolongkan menjadi saluran alam (natural) dan saluran buatan (artificial). Saluran alam meliputi semua alur air yang terdapat secara alamiah di bumi, mulai dari anak selokan kecil di pegunungan, selokan kecil, sungai kecil dan sungai besar sampai ke muara sungai.

Saluran terbuka menurut Triatmodjo (1996:103) adalah saluran dimana air mengalir dengan muka air bebas. Pada saluran terbuka, misalnya sungai (saluran alam), variabel aliran sangat tidak teratur terhadap ruang dan waktu. Variabel

tersebut adalah tampang lintang saluran, kekasaran, kemiringan dasar, belokan, debit aliran dan sebagainya.

1. Klasifikasi aliran pada saluran terbuka :

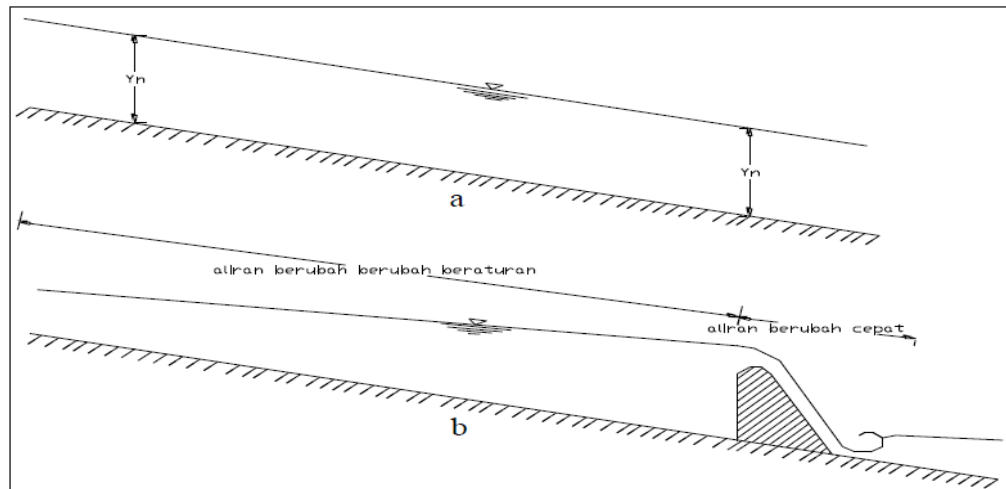
a. Aliran permanen dan tidak permanen

Jika variabel dari aliran pada suatu titik tidak berubah terhadap waktu, maka aliran disebut aliran permanen atau tunak (*steady flow*), jika variabel tersebut pada suatu lokasi tertentu berubah terhadap waktu maka alirannya disebut aliran tidak permanen atau tidak tunak (*unsteady flow*).

b. Aliran seragam dan berubah

Aliran melalui saluran terbuka adalah seragam (*uniform*) jika berbagai variabel aliran seperti kedalaman, tampang basah, kecepatan dan debit pada setiap tampang disepanjang saluran dalam keadaan konstan. Pada aliran seragam garis energi, garis muka air dan dasar saluran dalam keadaan sejajar sehingga kemiringan dari ketiga garis tersebut sama. Kedalaman air pada aliran seragam disebut kedalaman normal ( $Y_n$ ). Untuk debit aliran dan luas tampang lintang saluran tertentu kedalaman normal dalam keadaan konstan di seluruh panjang saluran.

Aliran disebut tidak seragam atau berubah (*non uniform flow* atau *varied flow*) jika variabel saluran seperti kedalaman, tampang basah, kecepatan di sepanjang saluran tidak konstan. Apabila perubahan aliran terjadi pada jarak yang pendek maka disebut aliran berubah cepat, sedang apabila terjadi pada jarak yang panjang disebut aliran berubah beraturan. Di dalam aliran tidak seragam garis tenaga tidak sejajar dengan garis muka air dan dasar saluran. Kedalaman dan kecepatan aliran di sepanjang saluran tidak konstan, pengaliran ini terjadi apabila tampang lintang sepanjang saluran tidak konstan, seperti sungai.



Gambar 3. 1 Aliran seragam (a) dan berubah (b)  
(Sumber : Hidraulika II Bambang Triatmojo, 1996)

c. Aliran laminar dan turbulen

Jika partikel zat cair bergerak mengikuti alur tertentu dan aliran tampak seperti gerakan serat-serat atau lapisan-lapisan tipis yang parallel, maka alirannya disebut aliran laminar. Sebaliknya, jika partikel zat cair bergerak mengikuti alur yang tidak beraturan, baik ditinjau terhadap ruang maupun waktu, maka alirannya disebut aliran turbulen. Faktor yang menentukan keadaan aliran adalah pengaruh relative antara kekentalan (*viskositas*) dan gaya inersia. Jika gaya viskositas yang dominan, maka alirannya laminar, sedangkan jika gaya inersia yang dominan, maka alirannya turbulen. Hubungan antara gaya kekentalan dan inersia dinyatakan dalam bilangan reynold (*rey*), yang didefinisikan seperti rumus berikut :

$$Re = \frac{VD}{\nu} \dots \dots \dots (1)$$

Dimana

- Re = Bilangan Reynolds
- V = Kecepatan aliran (m/detik)
- D = Panjang karakteristik (m)
- $\nu$  = Viskositas ( $m^2/detik$ )

Berdasarkan pada percobaan aliran di dalam pipa, Reynolds menetapkan bahwa untuk bilangan Reynolds dibawah 500, aliran pada

kondisi tersebut adalah laminar. Aliran akan turbulen apabila bilangan Reynolds lebih besar 1000. Pada umumnya tipe aliran melalui saluran terbuka adalah turbulen, karena kecepatan aliran dan kekasaran dinding relative besar.

Adapun menurut J.K.Robert aliran fluida khususnya air diklasifikasikan berdasarkan perbandingan antara gaya-gaya inersia (inertial forces) dengan gaya-gaya akibat kekentalan (viscous forces) menjadi tiga bagian, yaitu aliran laminar, aliran transisi dan aliran turbulen. Jadi untuk saluran terbuka alami (sungai) untuk masing-masing jenis aliran diklasifikasikan sebagai berikut, menurut J.K.Robert:

Laminer :  $Re < 500$

Transisi :  $500 < Re < 12500$

Turbulen:  $Re > 12500$

Batas peralihan antara aliran laminar dan turbulen pada aliran bebas terjadi pada bilangan reynold,  $Re \pm 600$ , yang dihitung berdasarkan jarijari hidrolis sebagai panjang karakteristik. Dalam kehidupan sehari-hari, aliran laminar pada saluran terbuka sangat jarang ditemui. Aliran jenis ini mungkin dapat terjadi pada aliran yang kedalamannya sangat tipis diatas permukaan gelas sangat halus dengan kecepatan yang sangat kecil.

d. Aliran subkritis, kritis dan superkritis

Menurut Chow (1959) dalam Mulyandari (2010), bahwa akibat dari gaya tarik bumi terhadap aliran dinyatakan dengan rasio gaya inersia dengan gaya tarik bumi  $g$ . Rasio ini diterapkan sebagai bilangan *Froude* ( $Fr$ ) yang didefinisikan dengan rumus :

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{g \times h}} \dots\dots\dots (2)$$

Dimana,

$Fr$  = angka Froud

$v$  = kecepatan aliran (m/s)

$g$  = percepatan gravitasi ( $m^2/s$ )

$h$  = kedalaman aliran (m)

Aliran dikatakan kritis ( $Fr = 1$ ) apabila kecepatan aliran sama dengan kecepatan gelombang gravitasi dengan amplitudo kecil. Gelombang gravitasi dapat dibangkitkan dengan merubah kedalaman. Jika kecepatan aliran lebih kecil daripada kecepatan kritis, maka alirannya disebut subkritis ( $F < 1$ ), sedangkan jika kecepatan alirannya lebih besar daripada kecepatan kritis, maka alirannya disebut superkritis ( $Fr > 1$ ). Parameter yang menentukan ketiga jenis aliran tersebut adalah nisbah antara gaya gravitasi dan gaya unersia, yang dinyatakan dengan bilangan Froude ( $Fr$ ).

## 2. Kekasaran dinding dan dasar saluran terbuka

Zat cair yang mengalir melalui saluran terbuka akan menimbulkan tegangan geser (tahanan) pada dinding saluran. Tahanan ini akan diimbangi oleh komponen gaya berat yang bekerja pada zat cair dalam arah aliran. Di dalam aliran seragam, komponen gaya berat dalam arah aliran adalah seimbang dengan tahanan geser. Tahanan geser ini tergantung pada kecepatan aliran. Berdasarkan kesetimbangan gaya-gaya yang terjadi tersebut dapat diturunkan rumus *Manning* untuk menghitung kecepatan yang terjadi sebagai berikut :

$$V = \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times I^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (3)$$

$$R = \frac{A}{P} \dots\dots\dots (4)$$

Dimana,

- V = kecepatan aliran (m/s)
- n = nilai koefisien *manning*
- R = radius hidraulik (m)
- A = luas penampang saluran ( $m^2$ )
- P = keliling penampang saluran(m)
- I = kemiringan / *slope* saluran

Koefisien manning merupakan fungsi dari bahan dinding saluran. Kekasaran manning suatu saluran tergantung dari jenis material atau kondisi permukaan saluran. Permukaan saluran yang halus, misalnya saluran beton mempunyai nilai kekasaran Manning yang berbeda jika dibanding dengan saluran terbuat dari pasangan batu kali atau material yang lain. Nilai koefisien manning terdapat dalam Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Harga koefisien *Manning*

Bahan	Koefisien <i>Manning</i> (n)
Besi tuang dilapis	0,014
Kaca	0,010
Saluran beton	0,013
Bata dilapis mortar	0,015
Pasangan batu disemen	0,025
Saluran tanah bersih	0,022
Saluran tanah	0,030
Saluran dengan dasar batu dan tebing rumput	0,040
Saluran pada galian batu padas	

Sumber : Triatmodjo, 1996

### 3. Distribusi Kecepatan pada Penampang Saluran

Kecepatan aliran tidak sama sepanjang tubuh kanal sungai hal ini tergantung dari bentuk, kekasaran kanal sungai dan pola sungai. Kecepatan terbesar terletak pada bagian tengah kanal dan bagian atas dari bagian terdalam kanal yang jauh dari seretan friksional pada bagian dinding dan dasar kanal.

Pada sungai berkelok, zona kecepatan maksimum berada pada bagian luar kelokan dan zona kecepatan minimum berada pada bagian dalam kelokan. Pola ini sebagai penyebab penting terjadinya erosi secara lateral pada kanal sungai dan migrasi pola sungai.

Dengan adanya suatu permukaan bebas dan gesekan di sepanjang dinding saluran, maka kecepatan dalam saluran tidak terbagi merata dalam penampang saluran. Kecepatan maksimum dalam saluran biasanya terjadi di bawah permukaan bebas sedalam 0,05 sampai 0,25 kali kedalamannya, makin dekat ketepi berarti makin dalam dan mencapai maksimum.

Distribusi kecepatan pada penampang saluran juga tergantung pada faktor-faktor lain, seperti bentuk penampang yang tidak lazim, kekasaran saluran dan adanya tekukan-tekukan. Pada arus yang lebar, deras dan dangkal atau saluran yang sangat licin kecepatan maksimum sering terjadi di permukaan bebas. Kekasaran saluran dapat menyebabkan pertambahan kelengkungan kurva distribusi kecepatan vertikal. Pada tikungan, kecepatan meningkat pada bagian

cembung, menimbulkan gaya sentrifugal pada aliran. Gerak melingkar pada saluran yang melengkung merupakan gejala yang harus dipertimbangkan dalam perencanaan.

#### 4. Debit

Jumlah zat cair yang mengalir melalui tampang lintang aliran tiap satu satuan waktu disebut debit aliran dan diberi notasi  $Q$ . Debit aliran biasanya diukur dalam volume zat cair tiap satuan waktu, sehingga satuannya adalah meter kubik per detik ( $\text{m}^3/\text{detik}$ ). Perhitungan debit bisa dirumuskan dengan :

$$Q = \frac{v}{t} \dots\dots\dots (5)$$

Dengan,

$Q$  = debit ( $\text{m}^3/\text{detik}$ )

$v$  = volume ( $\text{m}^3$ )

$t$  = waktu (detik)

Di dalam zat cair ideal, di mana tidak terjadi gesekan, kecepatan aliran ( $V$ ) adalah sama di setiap titik pada tampang lintang. Untuk zat cair riil, kecepatan pada dinding batas adalah nol, dan bertambah dengan jarak dari dinding batas. Apabila tampang aliran tegak lurus pada arah aliran adalah  $A$  (luasan penampang), sehingga debit aliran adalah :

$$Q = A \times V \dots\dots\dots (6)$$

Dengan,

$Q$  = debit ( $\text{m}^3/\text{detik}$ )

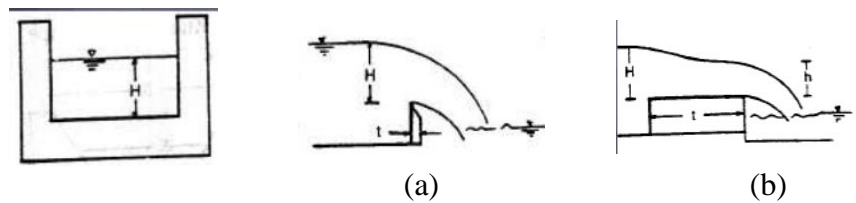
$V$  = kecepatan ( $\text{m}/\text{detik}$ )

$A$  = luasan penampang basah ( $\text{m}^2$ )

Pada saluran terbuka yang memiliki distribusi kecepatan yang tidak seragam, ditambah lagi jika saluran terdapat penghambat (misalnya pilar), maka akan cukup sulit untuk memperhitungkan debitnya. Metode pengukuran sederhana yang sering dilakukan adalah memasang sebuah penghalang atau ambang (weir) yang memiliki ukuran tertentu dan dipasang melintang pada saluran terbuka. Salah satu fungsi ambang adalah untuk mengukur debit cairan yang mengalir pada saluran melalui pengukuran tinggi permukaan cairan di atas ambang.

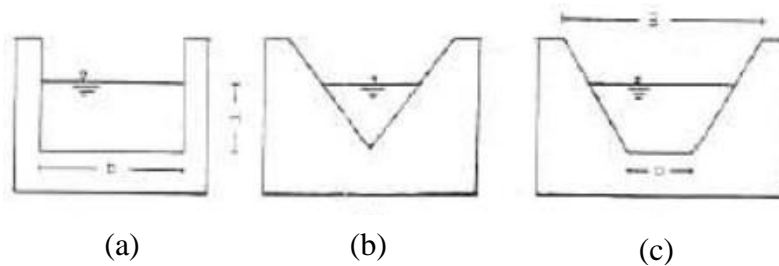


Berdasarkan pada bentuk puncak peluap biasa berupa ambang tipis maupun lebar. Peluap biasa disebut ambang tipis bila tebal peluap  $t < 0,5 H$  ; dan disebut ambang lebar apabila  $t > 0,66 H$ . Apabila  $0,5 H < t < 0,66 H$  keadaan aliran adalah tidak stabil dimana dapat terjadi kondisi aliran air melalui peluap ambang tipis atau ambang lebar. Gambar 3.2 menunjukkan peluap ambang tipis dan ambang lebar.



Gambar 3. 2 Peluap ambang tipis (a) dan lebar (b)

Menurut bentuknya peluap bisa dibedakan menjadi peluap segi empat, segitiga, trapesium, seperti yang tergambar dalam Gambar 3.3. Masing – masing tipe peluap mempunyai bentuk persamaan aliran yang berbeda.



Gambar 3. 3 Peluap segiempat (a), segitiga (b) dan trapesium (c)  
Salah satu yang sering digunakan adalah peluap segitiga. Gambar 3.4 menunjukkan aliran air pada peluap segitiga. Tinggi peluapan adalah  $H$  dan sudut peluap segitiga adalah  $\alpha$ . Dari gambar tersebut, maka lebar muka air adalah :

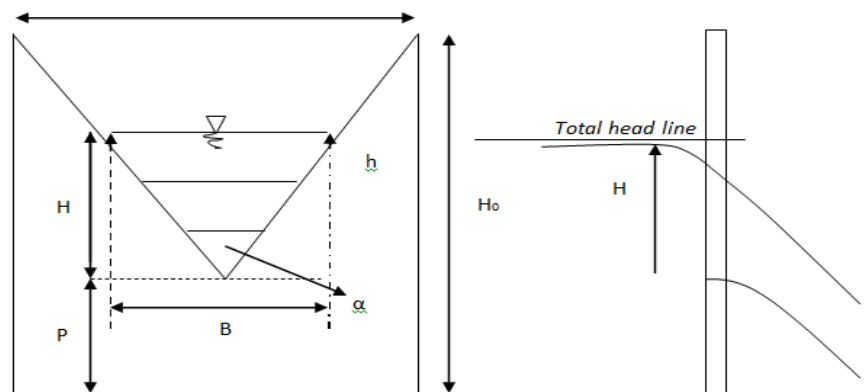
$$B = 2H \tan \frac{\alpha}{2} \dots\dots\dots (7)$$

Dengan menggunakan persamaan diferensial dan integrasi didapat suatu rumus persamaan untuk mencari nilai debit pada alat ukur peluap segitiga, adapun persamaan tersebut adalah :

$$Q = \frac{8}{15} \times C_d \times \tan \frac{\alpha}{2} \times \sqrt{2g} \times H^{\frac{5}{2}} \dots\dots\dots (8)$$

Dimana,

- $Q$  = debit aliran ( $\text{m}^3/\text{detik}$ )  
 $B$  = lebar muka air (m)  
 $H$  = tinggi peluapan (m)  
 $\alpha$  = sudut peluap segitiga ( $90^\circ$ )  
 $C_d$  = koefisien debit  
 $g$  = gravitasi bumi (m/detik)



Gambar 3. 4 Aliran pada peluap segitiga

### C. PARTICLE IMAGE VELOCIMETRY (PIV)

*Particle Image Velocimetry* merupakan metode pengukuran aliran 2D dengan menggunakan *image processing* rekaman aliran untuk mengetahui profil kecepatan sesaat pada aliran fluida. Pada prinsipnya metode PIV mengandalkan rekaman gambar partikel yang bergerak bersama obyek ukur (*seeder/tracking*) pada beberapa lokasi yang dapat terukur dengan baik. File gambar hasil rekaman selanjutnya dibaca dan diolah untuk mendapatkan besar dan arah kecepatan di lokasi-lokasi *seeder/tracking* yang tertangkap dalam rekaman gambar (Rahardjo,dkk, 2011).

Pemilihan jenis partikel yang bergerak bersama objek ukur atau *seeder* merupakan salah satu hal yang penting. Partikel tersebut harus bisa mengalir mengikuti pola aliran air permukaan, sehingga material partikel harus lebih terang daripada air. Partikel yang terlalu terang bisa dipengaruhi oleh aliran udara di atas permukaan air.

Selain jenis, ukuran partikel juga harus dipertimbangkan. Partikel yang terlalu kecil tidak dapat terlihat oleh kamera atau bisa menimbulkan efek peak-

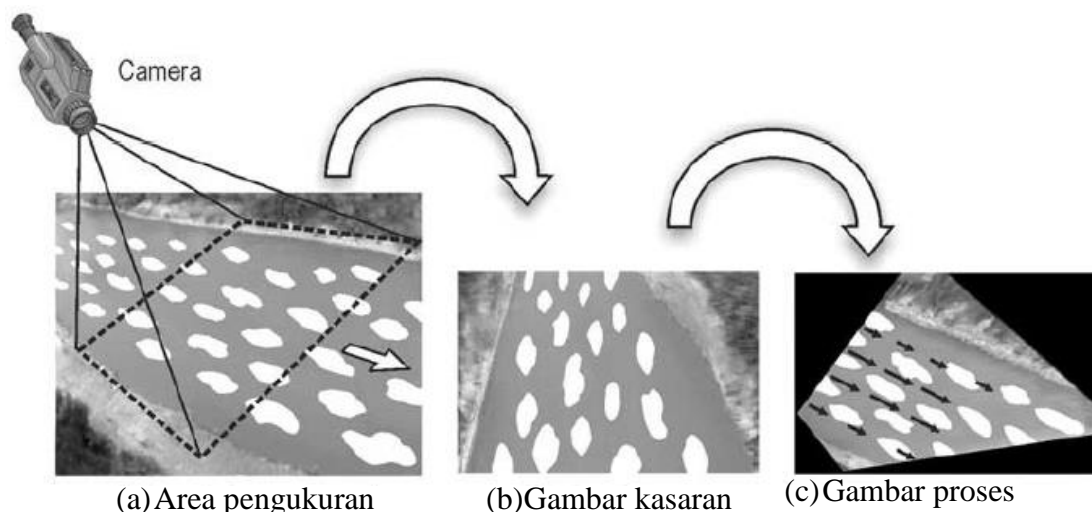
locking. Partikel yang terlalu besar dapat mengakibatkan partikelnya tidak bergerak bersama aliran dikarenakan oleh adanya gaya inersia.

Distribusi partikel yang homogen atau merata pada pengukuran di lapangan/saluran, sangat penting untuk hasil yang baik untuk pendekatan data vektor kecepatan.

#### ***D. LARGE-SCALE PARTICLE IMAGE VELOCIMETRY (LSPIV)***

*Large-scale particle image velocimetry (LSPIV)* adalah metode pendekatan pengukuran kecepatan yang tidak mengganggu aliran pada saluran terbuka di lapangan. Hasil kasar dari metode LSPIV adalah kecepatan permukaan air di lapangan yang didapatkan secara langsung dan bisa mencakup area dengan luasan ratusan meter persegi.

Pengukuran dengan metode LSPIV memerlukan beberapa komponen, yaitu visualisasi aliran / *seeder*, pencahayaan, perekaman gambar dan pemrosesan / pengolahan data gambar. Tata letak kamera juga mempengaruhi pengamatan, sehingga diperlukan koreksi geometrik untuk menyamakan asumsi koordinat pada gambar dalam satu referensi. Rangkaian metode pengukuran LSPIV dapat terlihat pada Gambar 3.5.



transformasi dan PIV  
Gambar 3.5 Metode pengukuran LSPIV

Dalam Gambar 3.5 dijelaskan bahwa metode pengukuran LSPIV dilakukan dengan cara, (a) memberi tanda atau partikel pada area pengukuran

untuk memvisualisasikan kondisi aliran (pola putih pada gambar menunjukkan *flow tracking* alami ataupun buatan yang digunakan untuk memvisualisasikan aliran terbuka), selanjutnya (b) didapatkan kasaran gambar yang direkam dengan kamera (kondisi terganggu), kemudian (c) gambar diproses untuk mendapatkan estimasi vector kecepatan (kondisi tak terganggu).

Komponen dalam metode pengukuran dengan LSPIV ini saling berhubungan satu dengan lainnya. Pemilihan salah satu pendekatan akan berpengaruh pada komponen lainnya, seperti pemilihan jenis partikel, ukuran partikel dan penyebaran partikel yang diharapkan/direncanakan, yang nantinya akan berpengaruh terhadap hasil *output* rekaman gambar.

Penentuan tata letak atau posisi kamera juga akan berpengaruh terhadap banyak/sedikitnya pencahayaan pada saluran yang dapat berpengaruh terhadap hasil visualisasi aliran. Penggunaan metode LSPIV yang dilakukan di luar ruangan (misalnya di sungai secara langsung), memiliki kelemahan pada pengaturan pencahayaan yang hanya mengandalkan cahaya alami matahari. Pantulan ataupun bayangan partikel pada permukaan air, dapat menurunkan kualitas dari hasil gambar (Hauet dkk, 2008b dalam Muste, 2008).

Visualisasi aliran atau *flow tracking* yang tidak mencukupi juga menjadi masalah pada metode LSPIV. Kondisi terbaik yaitu ketika aliran saluran terbuka/sungai dialiri atau divisualisasi dengan pola atau *flow tracking* yang alami yang mengapung pada aliran terbuka (contohnya *light floating* debris, busa ataupun boils yang dibuat di permukaan bebas oleh turbulensi). Pola atau *flow tracking* yang alami, bagaimanapun tidak selalu tersedia di alam, oleh karena itu perlu digunakan pola tambahan pada aliran terbuka. Kondisi terbaik yang lainnya, yaitu bayangan yang terbentuk dari interaksi cahaya dengan perubahan aliran bebas, bisa digunakan sebagai pengganti *flow tracking*. Perubahan aliran bebas tersebut, dengan tipikal panjang gelombang antara 2 sampai 4 cm juga digunakan untuk menghasilkan dasar penyebaran dalam pengukuran kecepatan dengan radar. Gelombang pada aliran terbuka dihasilkan oleh angin ataupun turbulensi dalam skala besar pada perpotongan susunan aliran terbuka. Selain kedua kondisi terbaik di atas, visualisasi aliran dengan material buatan juga bisa digunakan. Untuk

semua jenis visualisasi aliran, “flow tracking alami” ataupun material flow tracking buatan, keduanya harus memiliki ketepatan atau ketelitian untuk mengikuti atau memvisualisasi perubahan aliran yang terjadi pada aliran bebas.

Susunan gambar aliran selama perekaman tergantung pada ketersediaan dari cahaya atau pencahayaan dan bentuk visualisasi aliran atau flow tracking pada permukaan bebas. Ukuran dari gambar setara atau tergantung dari resolusi gambar dan kemampuan untuk membedakan pergerakan dari tampang aliran terhadap pasangan gambar.

### E. PEMODELAN PADA SALURAN TERBUKA

Pemodelan pada saluran terbuka akan dapat memprediksi kelakuan dan kerja dari suatu bangunan atau mesin yang akan dibuat. Beberapa kekurangan yang tidak/belum diperkirakan akan terjadi dapat segera diketahui sehingga kekurangan tersebut dapat segera dihindari pada prototip yang akan dibuat. Selain itu, dengan model ini dapat dipelajari beberapa alternative perencanaan sehingga akan dapat dipilih bangunan atau mesin yang paling optimum (Triamodjo, 1996:167).

Bentuk sesungguhnya dari bangunan yang diselidiki disebut prototip, dan model bisa lebih besar, sama besar ataupun lebih kecil.

#### 1. Sifat Sebangun

Hubungan antara model dan prototip dipengaruhi oleh hukum-hukum sifat sebangun hidrolis. Sifat sebangun ini memperhatikan beberapa aspek yaitu sebangun geometric, sebangun kinematic dan sebangun dinamik. Perbandingan antara prototip dan model disebut skala model.

##### a. Sebangun geometrik

Sebangun geometrik yaitu apabila model dan prototip mempunyai bentuk yang sama tetapi berbeda ukuran. Hal ini berarti perbandingan antara semua ukuran panjang yang bersangkutan termasuk kekasaran antara model dan prototip adalah sama. Perbandingan ini disebut skala geometric model  $n_L$  :

$$n_L = \frac{\text{ukuran di prototip}}{\text{ukuran di model}} = \frac{L_p}{L_m} \dots\dots\dots (9)$$

b. Sebangun kinematik

Sebangun kinematik yaitu apabila model dan prototip sebangun geometrik dan perbandingan kecepatan dan percepatan di dua titik yang bersangkutan pada prototip dan model untuk seluruh pengaliran adalah sama.

$$\frac{(V_1)_P}{(V_1)_m} = \frac{(V_2)_P}{(V_2)_m} = n_V \dots\dots\dots (10)$$

$$\frac{(a_1)_P}{(a_1)_m} = \frac{(a_2)_P}{(a_2)_m} = n_a \dots\dots\dots (11)$$

Besaran kinematik seperti kecepatan, percepatan, debit aliran dan sebagainya dapat diberikan dalam skala panjang dan skala waktu.

1) Skala kecepatan

$$n_V = \frac{V_P}{V_m} = \frac{L_P/T_P}{L_m/T_m} = \frac{n_L}{n_T} \dots\dots\dots (12)$$

2) Skala percepatan

$$n_a = \frac{a_P}{a_m} = \frac{L_P/T_P^2}{L_m/T_m^2} = \frac{n_L}{n_T^2} \dots\dots\dots (13)$$

3) Skala debit

$$n_Q = \frac{Q_P}{Q_m} = \frac{L_P^3/T_P}{L_m^3/T_m} = \frac{n_L^3}{n_T} \dots\dots\dots (14)$$

c. Sebangun dinamik

Sebangun dinamik yaitu apabila prototip dan model sebangun geometrik dan kinematik, serta gaya-gaya yang bersangkutan pada model dan prototip untuk seluruh pengaliran mempunyai perbandingan yang sama dan bekerja pada arah yang sama.

$$n_F = \frac{(F_1)_P}{(F_1)_m} = \frac{(F_2)_P}{(F_2)_m} \dots\dots\dots (15)$$

2. Model tak distorsi

Model yang mempunyai skala panjang dan vertikal yang sama disebut model tak distorsi. Pada model tak distorsi bentuk geometri antara model dan prototip adalah sama tetapi berbeda ukuran dengan suatu perbandingan ukuran atau skala tertentu.

### 3. Model distorsi

Model yang mempunyai skala horizontal dan vertikal berbeda disebut dengan model distorsi. Pada model distorsi bentuk geometri antara prototip dan model tidak sama. Model ini banyak dilakukan apabila prototip mempunyai dimensi horizontal yang jauh lebih besar dari dimensi vertikal, seperti sungai, pelabuhan. Dalam hal ini, apabila skala horizontal dan vertikal adalah sama, maka kedalaman air pada model bisa sangat kecil sehingga sulit untuk melakukan pengukuran, di samping juga sifat aliran bisa menjadi tidak sama (aliran di prototip adalah turbulen sedangkan di model laminar). Untuk menghindari keadaan tersebut, maka skala horizontal dan vertikal dibuat tidak sama.

Apabila skala horizontal adalah  $n_L$  dan skala vertikal adalah  $n_h$ , maka :

$$\frac{L_P}{L_m} = n_L \dots\dots\dots (16)$$

$$\frac{h_P}{h_m} = n_h \dots\dots\dots (17)$$

Koefisien distorsi :

$$r = \frac{n_L}{n_h} \dots\dots\dots (18)$$