# BAB II
# LANDASAN TEORI

## 2.1 Landasan Teori

### 2.1.1 Jalan Rel

Jalan rel merupakan prasarana utama perkeretaapian yang berfungsi sebagai lintasan tempat berjalannya kereta api. Berdasarkan Undang-Undang Nomor 23 Tahun 2007 tentang Perkeretaapian, jalan rel adalah lintasan yang terdiri dari rel, bantalan, balas, tanah dasar, serta perlengkapan lainnya yang digunakan untuk mengarahkan dan menahan beban kendaraan kereta api.

Menurut Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 60 Tahun 2012 tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api, jalan rel harus dirancang dan dibangun sesuai standar teknis yang menjamin keselamatan, kenyamanan, serta efisiensi operasional. Komponen utama jalan rel meliputi:

1. Rel, berfungsi sebagai penyalur beban roda dan pengarah gerak kereta.
2. Bantalan, sebagai penopang rel dan penerus beban ke lapisan balas.
3. Balas, menjaga kestabilan jalur serta membantu drainase air.
4. Tanah dasar (*subgrade*), menopang seluruh struktur di atasnya dan harus memiliki daya dukung yang memadai.

Jalan rel harus mampu menahan beban dinamis dari lalu lintas kereta, cuaca, serta perubahan kelembapan tanah agar berumur panjang dan aman digunakan.

### 2.1.2 Pengelompokkan Jalan Rel

Di bawah ini merupakan penjelasan mengenai lima kategori pengelompokkan jalan rel :

1. Pengelompokkan Menurut Lebar Sepur

Lebar sepur adalah jarak antara sisi dalam kepala rel pada sepasang rel yang sejajar. Di Indonesia, sistem perkeretaapian menggunakan beberapa jenis lebar sepur, yaitu:

a. Sepur 1.067 mm (*narrow gauge*), digunakan di sebagian besar jaringan nasional.
b. Sepur 1.435 mm (*standard gauge*), dipakai pada proyek kereta cepat dan lintasan modern.
c. Sepur 750 mm atau 600 mm (*narrow railway*), umumnya untuk jalur industri atau wisata.

Pemilihan lebar sepur dipengaruhi oleh kondisi geografis, biaya pembangunan, dan interoperabilitas jaringan.

2. Pengelompokkan Menurut Kecepatan Maksimum

Kecepatan maksimum jalur rel menentukan kualitas geometrik dan struktur yang diperlukan. Berdasarkan PM 60 Tahun 2012 jalur rel dapat dilihat pada **Tabel 2. 1.**

**Tabel 2. 1** Kecepatan Maksimum Sesuai Kelas Jalan Rel

| Kelas Jalan Rel | Kecepatan Maksimum (km/jam) |
|---|---|
| I | 120 |
| II | 110 |
| III | 100 |
| IV | 90 |
| V | 80 |

Sumber : Peraturan Menteri Perhubungan No.60 Tahun 2012

Jalur Yogyakarta–Pacitan umumnya direncanakan sebagai kelas II karena menyesuaikan kondisi topografi yang bergelombang dan kebutuhan layanan antarkota menengah.

3. Pengelompokkan Menurut Kelandaian

Kelandaian jalur rel adalah perbandingan perubahan elevasi terhadap panjang lintasan. Semakin besar kelandaian, semakin besar pula gaya yang dibutuhkan untuk mendaki. Oleh karena itu, kemiringan maksimum dibatasi sesuai kemampuan traksi kereta. Pada medan bergunung seperti di Pacitan dan Wonogiri, kelandaian dirancang seminimal mungkin agar operasional tetap efisien dan aman. Kelandaian

yang terlalu curam dapat mengakibatkan risiko tergelincir dan meningkatkan konsumsi energi. Kelandaian yang digunakan berdasarkan **Tabel 2. 2.**

**Tabel 2. 2** Lintas Jalan Rel Menurut Kelandaian

| Kelas Jalan Rel | Landai Penentu Maksimum |
|---|---|
| Lintas Datar | 0 sampai 10‰ |
| Lintas Pegunungan | 10‰ sampai 40‰ |
| Lintas dengan rel gigi | 40‰ sampai 80‰ |

Sumber : Peraturan Menteri Perhubungan No.60 Tahun 2012

4. Pengelompokkan Menurut Jumlah Jalur

   Jumlah jalur mengacu pada banyaknya jalur yang tersedia pada lintas bebas. Berdasarkan jumlah jalurnya, jalur kereta api dapat dibedakan menjadi:

   a. Jalur Tunggal (*single track*), yaitu lintas yang hanya memiliki satu jalur dan digunakan untuk melayani perjalanan kereta api dari dua arah secara bergantian.

   b. Jalur Ganda (*double track*), yaitu lintas yang memiliki dua jalur, di mana masing-masing jalur digunakan untuk melayani perjalanan kereta api dalam satu arah tertentu.

5. Pengelompokkan Menurut Kelas Jalan Rel

   Dalam perencanaan dan perancangan berdasarkan Peraturan Dinas 10 PJKA, digunakan satu standar beban gandar yaitu sebesar 18 ton. Ketentuan ini diterapkan dengan tujuan sebagai berikut:

   a. Kereta api dapat berpindah dari jalur dengan kelas yang lebih tinggi ke jalur dengan kelas yang lebih rendah tanpa perlu mengurangi muatan yang diangkut.

   b. Lokomotif dapat dioperasikan pada seluruh jalur kereta api meskipun memiliki kelas lintas yang berbeda.

   Dengan adanya ketentuan tersebut, penggolongan jalan rel ditentukan berdasarkan kapasitas angkut lalu lintas dan kecepatan maksimum yang diizinkan. Kapasitas angkut lintas sendiri didefinisikan sebagai total beban angkutan yang melintasi suatu jalur dalam periode satu tahun, yang dinyatakan dalam satuan ton per tahun (ton/tahun). Klasifikasi jalan rel di Indonesia dapat dilihat pada **Tabel 2. 3.**

**Tabel 2. 3** Kelas Jalan Rel di Indonesia

| Kelas Jalan Rel | Kapasitas Angkut Lintas ($x10^8$ton/tahun) | Kecepatan Maksimum (km/jam) | Beban Gandar Maksimum (ton) |
|---|---|---|---|
| I | >20 | 120 | 18 |
| II | 10-20 | 110 | 18 |
| III | 5-10 | 100 | 18 |
| IV | 2,5-5 | 90 | 18 |
| V | <2,5 | 80 | 18 |

Sumber : Peraturan Menteri Perhubungan No.60 Tahun 2012

### 2.1.3 Standar Jalan Rel di Indonesia

Sebagai acuan dalam proses perencanaan dan perancangan struktur atas jalan rel, digunakan standar-standar teknis yang telah ditetapkan sebagai dasar pelaksanaannya. Standar tersebut mencakup ketentuan mengenai klasifikasi jalan rel, kecepatan maksimum, serta parameter teknis lainnya yang digunakan dalam perencanaan.

Salah satu acuan yang digunakan adalah ketentuan kecepatan maksimum berdasarkan kelas jalan rel sesuai PM No. 60 Tahun 2012. Klasifikasi kelas jalan rel beserta kecepatan maksimum yang diizinkan dapat dilihat pada **Tabel 2. 4.**

**Tabel 2. 4** Standar Jalan Rel di Indonesia

| Kelas Jalan | Daya Angkut Lintas (ton/tahun) | V maks (km/jam) | P maks gandar (ton) | Tipe Rel | Jenis Bantalan Jarak antar sumbu bantalan (cm) | Jenis Penambat | Tebal Balas Atas (cm) | Lebar Bahu Balas (cm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| I | > $20.10^6$ | 120 | 18 | R.60/R.54 | Beton 60 | Elastis Ganda | 30 | 60 |
| II | $10.10^6$ – $20.10^6$ | 110 | 18 | R.54/R.50 | Beton/Kayu 60 | Elastis Ganda | 30 | 50 |
| III | $5.10^6$ – $10.10^6$ | 100 | 18 | R.54/R.50 /R.42 | Beton/Kayu/ Baja 60 | Elastis Ganda | 30 | 40 |
| IV | $2,5.10^6$ – $5.10^6$ | 90 | 18 | R.54/R.50 /R.42 | Beton/Kayu/ Baja 60 | Elastis Ganda/Tunggal | 25 | 40 |
| V | < $2.5.10^6$ | 80 | 18 | R.42 | Kayu/Baja 60 | Elastis Tunggal | 25 | 35 |

Sumber : Peraturan Menteri Perhubungan No.60 Tahun 2012

## 2.2 Geometri Jalan Rel

Geometri jalan rel mencakup bentuk dan posisi jalur rel baik secara horizontal maupun vertikal. Desain geometri harus menjamin kenyamanan, keselamatan, serta efisiensi pergerakan kereta. Menurut PM 60 Tahun 2012, elemen geometri meliputi kelengkung horizontal, lengkung vertikal, pelebaran sepur, dan peninggian jalan rel.

### 2.2.1 Lengkung Horizontal

Lengkung horizontal digunakan untuk menghubungkan dua jalur lurus dengan arah berbeda. Lengkung harus dirancang dengan radius yang cukup besar agar gaya sentrifugal tetap dalam batas aman. Pada daerah datar, radius dapat dibuat lebih kecil, sedangkan pada daerah berbukit radius umumnya diperbesar untuk menjaga kenyamanan dan kestabilan perjalanan kereta. Selain itu, diperlukan lengkung transisi antara jalur lurus dan lengkung utama agar perubahan arah berlangsung secara bertahap. Ketentuan mengenai radius minimum lengkung horizontal berdasarkan kecepatan rencana yang digunakan dalam perencanaan dapat dilihat pada **Tabel 2. 5.**

**Tabel 2. 5** Jari – Jari Minimum yang Diizinkan

| Kecepatan Rencana (Km/jam) | Jari- jari minimum lengkung lingkaran tanpa lengkung peralihan (m) | Jari - jari minimum lengkung lingkaran yang diizinkan dengan lengkung peralihan (m) |
|---|---|---|
| 120 | 2370 | 780 |
| 110 | 1990 | 660 |
| 100 | 1650 | 550 |
| 90 | 1330 | 440 |
| 80 | 1050 | 350 |
| 70 | 810 | 270 |
| 60 | 600 | 200 |

Sumber : PJKA (1986)

### 2.2.2 Lengkung Vertikal

Lengkung vertikal menghubungkan dua kemiringan memanjang berbeda dalam satu lengkung. Ada dua jenis lengkung vertikal, yaitu cembung (pada puncak bukit)

dan cekung (pada lembah). Tujuannya untuk menjaga kenyamanan dan kestabilan gaya tekan pada roda kereta saat melintasi perubahan elevasi.

Dalam PM 60 Tahun 2012, ditentukan bahwa perubahan elevasi harus dibuat secara bertahap dengan radius lengkung vertikal tertentu agar kereta dapat melaju aman pada kecepatan rencana. Besaran jari – jari minimum lengkung vertikal ditunjukkan pada **Tabel 2. 6.**

**Tabel 2. 6** Jari – Jari Minimum Lengkung Vertikal

| Kecepatan Rencana (km/jam) | Jari- Jari Minimum Lengkung Vertikal (m) |
|---|---|
| Lebih besar dari 100 | 8000 |
| Sampai 100 | 6000 |

Sumber : Peraturan Menteri Perhubungan No.60 Tahun 2012

### 2.2.3 Pelebaran Sepur

Pelebaran sepur merupakan teknik dalam perencanaan jalur kereta api yang bertujuan untuk menambah jarak antar rel pada bagian lengkungan. Penerapan pelebaran sepur berfungsi mengurangi gaya lateral pada roda dan rel sehingga meningkatkan stabilitas serta kenyamanan perjalanan, terutama pada tikungan dengan jari-jari kecil. Ketentuan jari-jari tikungan untuk pelebaran sepur pada lebar rel 1067 mm dan 1435 mm disajikan pada **Tabel 2. 7** dan **Tabel 2. 8**.

**Tabel 2. 7** Pelebaran Jalan Rel Untuk 1067 mm

| Jari- Jari Tikungan (m) | Pelebaran (mm) |
|---|---|
| $R > 600$ | 0 |
| $550 < R \leq 600$ | 5 |
| $400 < R < 550$ | 10 |
| $350 < R \leq 400$ | 15 |
| $100 < R \leq 350$ | 20 |

Sumber : Peraturan Menteri Perhubungan No.60 Tahun 2012

**Tabel 2. 8** Pelebaran jalan Rel Untuk 1435 mm

| Jari- Jari Tikungan (m) | Pelebaran (mm) |
|---|---|
| $R > 400$ | 0 |
| $350 < R \leq 400$ | 5 |
| $300 < R \leq 350$ | 10 |
| $250 < R \leq 300$ | 15 |
| $R \leq 250$ | 20 |

Sumber : Peraturan Menteri Perhubungan No.60 Tahun 2012

### 2.2.4 Peninggian Jalan Rel

Peninggian jalan rel merupakan metode dengan menaikkan salah satu rel lebih tinggi dibandingkan rel lainnya pada bagian tikungan. Tujuan penerapan peninggian ini adalah untuk mengimbangi gaya sentripetal yang bekerja pada kereta api saat melintas, sehingga kestabilan, kenyamanan, dan keselamatan perjalanan dapat ditingkatkan. Ketentuan peninggian jalan rel untuk lebar rel 1067 mm dan 1435 mm disajikan pada **Tabel 2. 9** dan **Tabel 2. 10.**

**Tabel 2. 9** Peninggian Jalan Rel 1067 mm

| Jari-Jari (m) | 160 | 150 | 140 | 130 | 120 | 110 | 100 | 90 | 80 | 70 | 60 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 | | | | | | | | | | | |
| 150 | | | | | | | | | | | |
| 200 | | | | | | | | | | | 150 |
| 250 | | | | | | | | | | | 120 |
| 300 | | | | | | | | | | 135 | 100 |
| 350 | | | | | | | | | 150 | 115 | 85 |
| 400 | | | | | | | | 130 | 100 | 75 | |
| 450 | | | | | | | 150 | 120 | 90 | 65 | |
| 500 | | | | | | | 135 | 105 | 80 | 60 | |
| 550 | | | | | | 150 | 120 | 95 | 75 | 55 | |
| 600 | | | | | 135 | 110 | 90 | 70 | 50 | | |
| 650 | | | | | 125 | 105 | 80 | 65 | 45 | | |
| 700 | | | | 145 | 120 | 95 | 75 | 60 | 45 | | |
| 750 | | | | 135 | 110 | 90 | 70 | 55 | 40 | | |
| 800 | | | 150 | 125 | 105 | 85 | 65 | 50 | 40 | | |
| 850 | | | 140 | 120 | 100 | 80 | 65 | 50 | 35 | | |
| 900 | | | 130 | 110 | 90 | 75 | 60 | 45 | 35 | | |
| 950 | | 145 | 125 | 105 | 90 | 70 | 55 | 45 | 35 | | |
| 1000 | | 140 | 120 | 100 | 85 | 70 | 55 | 40 | 30 | | |
| 1100 | | 145 | 125 | 110 | 90 | 75 | 60 | 50 | 40 | 30 | |

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1200 | | 135 | 115 | 100 | 85 | 70 | 55 | 45 | 35 | 25 | |
| 1300 | | 145 | 125 | 110 | 90 | 80 | 65 | 55 | 40 | 35 | |
| 1400 | 150 | 135 | 115 | 100 | 85 | 75 | 60 | 50 | 40 | 30 | |
| 1500 | 140 | 125 | 110 | 95 | 80 | 70 | 55 | 45 | 35 | 30 | |
| 1600 | 130 | 115 | 100 | 90 | 75 | 65 | 55 | 45 | 35 | 25 | |
| 1700 | 125 | 110 | 95 | 85 | 70 | 60 | 50 | 40 | 35 | 25 | |
| 1800 | 120 | 105 | 90 | 80 | 65 | 55 | 45 | 40 | 30 | 25 | |
| 1900 | 110 | 100 | 85 | 75 | 65 | 55 | 45 | 35 | 30 | 25 | |
| 2000 | 105 | 95 | 80 | 70 | 60 | 50 | 45 | 35 | 30 | 20 | |
| 2500 | 85 | 75 | 65 | 55 | 50 | 40 | 35 | 30 | 25 | 20 | |
| 3000 | 70 | 65 | 55 | 50 | 40 | 35 | 30 | 25 | 20 | 15 | |
| 3500 | 60 | 55 | 50 | 40 | 35 | 30 | 25 | 20 | 15 | 15 | |
| 4000 | 55 | 50 | 40 | 35 | 30 | 25 | 25 | 20 | 15 | 10 | |

Sumber : Peraturan Menteri Perhubungan No.60 Tahun 20

**Tabel 2. 10** Peninggian Jalan Rel 1435 mm

| **Jari-Jari (m)** | **160** | **150** | **140** | **130** | **120** | **110** | **100** | **90** | **80** | **70** | **60** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 | | | | | | | | | | | |
| 150 | | | | | | | | | | | |
| 200 | | | | | | | | | | | 150 |
| 250 | | | | | | | | | | | 120 |
| 300 | | | | | | | | | | 135 | 100 |
| 350 | | | | | | | | | 150 | 115 | 85 |
| 400 | | | | | | | | 130 | 100 | 75 | |
| 450 | | | | | | | 150 | 120 | 90 | 65 | |
| 500 | | | | | | | 135 | 105 | 80 | 60 | |
| 550 | | | | | | 150 | 120 | 95 | 75 | 55 | |
| 600 | | | | | 135 | 110 | 90 | 70 | 50 | | |

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 650 | | | | | 125 | 105 | 80 | 65 | 45 | | |
| 700 | | | | 145 | 120 | 95 | 75 | 60 | 45 | | |
| 750 | | | | 135 | 110 | 90 | 70 | 55 | 40 | | |
| 800 | | | 150 | 125 | 105 | 85 | 65 | 50 | 40 | | |
| 850 | | | 140 | 120 | 100 | 80 | 65 | 50 | 35 | | |
| 900 | | | 130 | 110 | 90 | 75 | 60 | 45 | 35 | | |
| 950 | | 145 | 125 | 105 | 90 | 70 | 55 | 45 | 35 | | |
| 1000 | | 140 | 120 | 100 | 85 | 70 | 55 | 40 | 30 | | |
| 1100 | | 145 | 125 | 110 | 90 | 75 | 60 | 50 | 40 | 30 | |
| 1200 | | 135 | 115 | 100 | 85 | 70 | 55 | 45 | 35 | 25 | |
| 1300 | | 145 | 125 | 110 | 90 | 80 | 65 | 55 | 40 | 35 | |
| 1400 | 150 | 135 | 115 | 100 | 85 | 75 | 60 | 50 | 40 | 30 | |
| 1500 | 140 | 125 | 110 | 95 | 80 | 70 | 55 | 45 | 35 | 30 | |
| 1600 | 130 | 115 | 100 | 90 | 75 | 65 | 55 | 45 | 35 | 25 | |
| 1700 | 125 | 110 | 95 | 85 | 70 | 60 | 50 | 40 | 35 | 25 | |
| 1800 | 120 | 105 | 90 | 80 | 65 | 55 | 45 | 40 | 30 | 25 | |
| 1900 | 110 | 100 | 85 | 75 | 65 | 55 | 45 | 35 | 30 | 25 | |
| 2000 | 105 | 95 | 80 | 70 | 60 | 50 | 45 | 35 | 30 | 20 | |
| 2500 | 85 | 75 | 65 | 55 | 50 | 40 | 35 | 30 | 25 | 20 | |
| 3000 | 70 | 65 | 55 | 50 | 40 | 35 | 30 | 25 | 20 | 15 | |
| 3500 | 60 | 55 | 50 | 40 | 35 | 30 | 25 | 20 | 15 | 15 | |
| 4000 | 55 | 50 | 40 | 35 | 30 | 25 | 25 | 20 | 15 | 10 | |

Sumber : Peraturan Menteri Perhubungan No.60 Tahun 2012

## 2.3 Profil Jalan Rel

Setiap jenis rel memiliki ukuran penampang standar yang harus sesuai dengan ketentuan dimensi yang berlaku. Rincian dimensi penampang untuk masing-masing tipe rel dapat dilihat pada **Tabel 2. 11.**

**Tabel 2. 11** Dimensi dan Karakteristik Penampang Rel

| Besaran Geometri Rel | Tipe Rel | Tipe Rel | Tipe Rel | Tipe Rel |
|---|---|---|---|---|
| | R 42 | R 50 | R 54 | R 60 |
| H (mm) | 138 | 153 | 159 | 172 |
| B (mm) | 110 | 127 | 140 | 150 |
| C (mm) | 68,5 | 65 | 70 | 74,3 |
| D (mm) | 13,5 | 15 | 16 | 16,5 |
| E (mm) | 40,5 | 49 | 49,4 | 51 |
| F (mm) | 23,5 | 30 | 30,2 | 31,5 |
| G (mm) | 72 | 76 | 74,79 | 80,95 |
| R (mm) | 320 | 500 | 508 | 120 |
| A (cm2) | 54,26 | 64,2 | 69,34 | 76,86 |
| W (kg/m) | 42,59 | 50,4 | 54,43 | 60,34 |
| 1, (cm4) | 1369 | 1960 | 2346 | 3055 |
| YI, (mm) | 68,5 | 71,6 | 76,2 | 80,95 |
| A = Luas penampang | | | | |
| W = Berat rel per meter | | | | |
| IX = Momen inersia terhadap sumbu x | | | | |
| Yh = Jarak tepi bawah rel ke garis netral | | | | |

Sumber : Peraturan Menteri Perhubungan No.60 Tahun 2012

Dimensi penampang rel tipe R42, R50, R54, dan R60 menunjukkan peningkatan ukuran seiring dengan bertambahnya kapasitas beban rel. Tinggi rel (H) meningkat dari 138 mm pada R42 menjadi 172 mm pada R60, sedangkan lebar alas rel (B) bertambah dari 110 mm menjadi 150 mm untuk meningkatkan kestabilan. Lebar kepala rel (C), ketebalan kepala (D), dan badan rel (E) juga mengalami peningkatan guna menyesuaikan dengan tekanan serta tingkat keausan yang lebih besar. Selain itu, lebar alas (F) dan tinggi leher rel (G) mengikuti tren yang sama. Perbedaan dimensi ini dirancang untuk menjamin kekuatan dan daya tahan rel, dengan tipe R60 memiliki penampang terbesar untuk mendukung beban dan intensitas operasi yang lebih tinggi.

## 2.4 Badan Jalan Rel

Badan jalan rel merupakan bagian konstruksi yang berfungsi sebagai penopang utama beban yang ditimbulkan oleh kereta api selama beroperasi. Oleh karena itu, badan jalan harus memiliki stabilitas yang baik agar mampu menahan beban dan terhindar dari risiko keruntuhan maupun longsor. Bentuk dan dimensi penampang melintang badan jalan rel dapat dilihat pada **Tabel 2. 12.**

**Tabel 2. 12** Dimensi Penampang Melintang Jalan Rel Berdasarkan Kelas Jalan

| Kelas Jalan | Vmax (km/jam) | d1 (cm) | b (cm) | C (cm) | k1 (cm) | d2 (cm) | e (cm) | k2(cm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| I | 120 | 30 | 150 | 235 | 265 | 15-50 | 25 | 375 |
| II | 110 | 30 | 150 | 235 | 265 | 15-50 | 25 | 375 |
| III | 100 | 30 | 140 | 225 | 240 | 15-50 | 22 | 325 |
| IV | 90 | 25 | 140 | 215 | 240 | 15-35 | 20 | 300 |
| V | 80 | 25 | 135 | 210 | 240 | 15-35 | 20 | 300 |

Sumber : Peraturan Menteri Perhubungan No.60 Tahun 2012

## 2.5 Bantalan Rel

Bantalan rel adalah bagian konstruksi jalan rel yang berfungsi menopang rel dan menjadi tempat pemasangan sistem penambat. Komponen ini harus mampu menyalurkan serta menahan beban yang diterima dari kereta api agar kondisi lintasan tetap stabil dan aman. Berdasarkan bahan penyusunnya, bantalan rel dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

a. Bantalan Baja atau Besi

Bantalan yang terbuat dari baja atau besi umumnya diaplikasikan pada lintasan tikungan. Material ini dipilih karena lebih mudah dibentuk dan disesuaikan dengan kebutuhan geometri jalur.

b. Bantalan Batu

Bantalan batu merupakan salah satu jenis bantalan paling awal yang digunakan dalam perkembangan perkeretaapian. Konstruksinya berupa dua buah balok batu yang ditempatkan di atas permukaan tanah sebagai penopang rel.

c. Bantalan Slab

Bantalan slab adalah konstruksi jalan rel yang dibuat menyatu dengan pelat beton badan jalan. Setelah terpasang, jenis bantalan ini relatif sulit untuk dimodifikasi. Di sisi lain, bantalan slab cenderung menghasilkan tingkat kebisingan dan getaran yang lebih besar dibandingkan jenis bantalan lainnya.

d. Bantalan Beton

Bantalan beton dibuat menggunakan beton prategang yang diperkuat dengan tulangan. Pada proses pembuatannya, dudukan atau angker penambat rel biasanya telah dipasang sehingga siap digunakan saat instalasi di lapangan.

e. Bantalan Kayu

Bantalan kayu pernah menjadi pilihan utama dalam konstruksi jalan rel karena memiliki sifat elastis yang baik. Oleh sebab itu, jenis ini juga banyak digunakan pada jembatan rel. Materialnya dapat berasal dari kayu keras maupun kayu lunak sesuai kebutuhan operasional.

## 2.6 Penambat Rel

Penambat rel merupakan komponen yang digunakan untuk menghubungkan rel dengan bantalan atau struktur pendukung lainnya. Fungsi utama penambat rel adalah menjaga posisi rel agar tetap kokoh, stabil, dan aman selama operasi kereta api berlangsung, sekaligus mencegah terjadinya pergeseran rel yang dapat mengganggu keselamatan perjalanan. Berdasarkan karakteristiknya, penambat rel dibedakan menjadi dua jenis, yaitu:

1. Penambat Elastis

   Penambat elastis terbuat dari baja yang memiliki sifat lentur sehingga mampu meredam getaran yang timbul saat kereta api melintas. Selain itu, jenis penambat ini juga dapat mengakomodasi perubahan panjang rel akibat pemuaian dan penyusutan yang disebabkan oleh perubahan suhu. Karena kemampuannya tersebut, penambat elastis banyak digunakan pada konstruksi jalan rel modern.

2. Penambat Kaku

   Penambat kaku menggunakan komponen seperti paku rel, mur, baut, atau tirpon yang dipasang bersama pelat landas. Jenis penambat ini umumnya

ditemukan pada jalur kereta api lama, baik yang masih beroperasi maupun yang sudah tidak digunakan lagi. Karena sifatnya yang kaku, penambat ini memiliki kemampuan yang lebih terbatas dalam meredam getaran dibandingkan penambat elastis.

## 2.7 Balas – Subbalas

Lapisan balas merupakan bagian dari struktur jalan rel yang berada tepat di bawah bantalan dan menerima distribusi beban terbesar dari lalu lintas kereta api. Karena berperan penting dalam menopang struktur rel, material penyusun lapisan balas harus memiliki kualitas yang baik agar mampu memberikan kekuatan, kestabilan, dan umur pelayanan yang panjang (Kementrian Perhubungan Republik Indonesia, 2012).

Fungsi utama lapisan balas adalah menyalurkan beban dari bantalan ke tanah dasar secara merata, menjaga posisi bantalan agar tetap stabil, serta menyediakan ruang drainase sehingga air dapat mengalir dengan baik dan tidak menggenang di sekitar rel maupun bantalan (Kementrian Perhubungan Republik Indonesia, 2012). Untuk menjamin kinerja yang optimal, material lapisan balas harus memenuhi beberapa persyaratan teknis, yaitu sebagai berikut:

1. Lapisan balas harus menggunakan batu pecah dengan ukuran butiran antara 25 mm hingga 60 mm yang memiliki daya tahan tinggi, permukaan kasar, serta mudah dipadatkan.
2. Material penyusun balas sebaiknya memiliki bentuk bersudut dan tidak membulat agar daya saling mengunci antar butir lebih baik.
3. Nilai porositas material tidak boleh melebihi 3%.
4. Kuat tekan rata-rata material dibatasi maksimum sebesar 1.000 kg/cm².
5. Berat jenis material yang digunakan tidak boleh lebih dari 2,6.
6. Kandungan tanah, lumpur, maupun bahan organik dibatasi maksimal sebesar 0,5%.
7. Kandungan minyak dalam material balas tidak boleh melebihi 0,2%.
8. Tingkat keausan material harus berada dalam batas yang diizinkan sehingga kualitas lapisan balas tetap terjaga selama masa pelayanan.

## 2.8 Wesel

Wesel merupakan konstruksi jalan rel yang berfungsi mengarahkan kereta api dari satu jalur ke jalur lainnya pada lokasi percabangan maupun persilangan rel. Penggunaan wesel memungkinkan perpindahan jalur dilakukan dengan aman sesuai kebutuhan operasional kereta api. Secara umum, wesel tersusun atas beberapa komponen utama berikut:

1. Rel Lantak

   Rel lantak adalah rel tetap yang berfungsi sebagai penopang dan tempat bersandarnya lidah wesel. Saat salah satu lidah wesel menempel pada rel lantak untuk membentuk jalur yang aktif, lidah lainnya akan membentuk celah yang digunakan sebagai ruang bagi flens roda kereta. Pergerakan rel lantak dan lidah wesel berlangsung secara bersamaan dalam mekanisme yang disebut gerakan lidah. Pada bagian ujung jarum, jarak antara rel lantak dan rel paksa umumnya sebesar 34 mm.

2. Jarum dan Sayap Wesel

   Jarum dan sayap wesel berfungsi untuk mengarahkan roda kereta ketika melewati daerah persilangan rel. Komponen ini memungkinkan flens roda melintasi bagian rel yang terputus pada titik persilangan. Sudut yang dibentuk oleh jarum wesel, yang dikenal sebagai sudut ketajaman jarum (α), berpengaruh terhadap arah dan kelancaran pergerakan kereta pada wesel.

3. Lidah Wesel

   Lidah wesel merupakan bagian yang dapat bergerak untuk menentukan jalur yang akan dilalui kereta. Pangkal lidah wesel disebut akar wesel. Berdasarkan konstruksinya, lidah wesel dibedakan menjadi dua jenis, yaitu:

   a. Lidah Berpegas

      Jenis lidah ini memiliki pangkal yang dijepit sehingga dapat melentur saat bergerak tanpa menggunakan engsel.

   b. Lidah Putar

      Lidah putar memiliki engsel pada bagian akar wesel yang memungkinkan lidah bergerak dengan mekanisme putaran.

4. Rel Paksa

Rel paksa merupakan komponen wesel yang umumnya dibuat dari rel standar yang kedua ujungnya dibengkokkan ke arah dalam. Pada konstruksi wesel, rel paksa bagian luar biasanya dihubungkan dengan rel lantak menggunakan baut yang dilengkapi blok pemisah sebagai pengatur jarak. Untuk wesel yang dirancang melayani kereta dengan kecepatan tinggi, rel paksa dipasang pada bantalan menggunakan sistem penambat khusus agar posisinya tetap stabil. Jarak antara rel paksa dan rel lantak umumnya ditetapkan sebesar 42 cm.

5. Sistem Penggerak Wesel

   Sistem penggerak wesel merupakan perangkat yang berfungsi untuk mengubah posisi lidah wesel sehingga kereta dapat diarahkan ke jalur yang diinginkan. Pengoperasian sistem ini dapat dilakukan secara mekanis maupun dengan bantuan tenaga listrik, tergantung pada jenis dan teknologi wesel yang digunakan.

## 2.9 Emplasemen

Emplasemen adalah bagian dari stasiun yang terdiri atas kumpulan jalur rel beserta fasilitas pendukung yang digunakan untuk menunjang kegiatan operasional kereta api. Perencanaan emplasemen dilakukan berdasarkan kebutuhan operasional, volume perjalanan kereta api, serta pertimbangan teknis dan ekonomis (PM No. 60 Tahun 2012).

Dalam perencanaannya, jalur siding umumnya memiliki panjang efektif minimum sebesar 400 meter untuk mengakomodasi kebutuhan persilangan, penyusulan, maupun penyimpanan rangkaian kereta (Mataputun, 2013). Pengaturan jalur rel pada emplasemen harus dirancang sedemikian rupa agar pergerakan kereta api dapat berlangsung dengan aman dan efisien (PM No. 60 Tahun 2012).

Pada lintas dengan konfigurasi jalur ganda, kereta api yang bergerak dari arah berlawanan direncanakan menggunakan jalurnya masing-masing sehingga tidak terjadi konflik perjalanan. Akan tetapi, apabila ketersediaan lahan terbatas atau terdapat kebutuhan operasional tertentu, jalur tambahan di emplasemen dapat

dimanfaatkan untuk melayani perjalanan kereta api dari arah yang berlawanan dengan tetap memperhatikan aspek keselamatan dan kelancaran operasi (PM No. 60 Tahun 2012; Mataputun, 2013).

## 2.10 Stasiun Kereta Api

Berdasarkan Keputusan Menteri Perhubungan Nomor 22 Tahun 2003, stasiun kereta api dapat dikelompokkan berdasarkan fungsinya dalam kegiatan operasional perkeretaapian. Berdasarkan fungsi tersebut, stasiun dibedakan menjadi stasiun awal, stasiun antara, stasiun akhir, stasiun pemeriksaan, dan stasiun batas.

1. Stasiun awal merupakan stasiun tempat dimulainya perjalanan kereta api. Stasiun ini berfungsi sebagai lokasi persiapan rangkaian kereta sebelum diberangkatkan menuju tujuan yang telah ditentukan.
2. Stasiun antara adalah stasiun yang berada di sepanjang lintasan perjalanan kereta api. Stasiun ini melayani kegiatan kedatangan dan keberangkatan kereta api, serta dapat digunakan sebagai tempat persilangan atau penyusulan kereta sesuai kebutuhan operasional.
3. Stasiun akhir merupakan stasiun yang menjadi tujuan terakhir suatu perjalanan kereta api. Pada stasiun ini rangkaian kereta mengakhiri perjalanan operasionalnya.
4. Stasiun pemeriksaan adalah stasiun yang ditetapkan dalam Grafik Perjalanan Kereta Api (Gapeka) untuk melaksanakan kegiatan pengawasan dan pencatatan perjalanan kereta api. Stasiun ini umumnya digunakan untuk mencatat kejadian operasional tertentu, seperti persilangan dengan kereta api fakultatif maupun kereta api luar biasa.
5. Stasiun batas merupakan stasiun yang berfungsi sebagai batas wilayah operasi perjalanan kereta api, terutama dalam kondisi tertentu seperti adanya stasiun yang tidak beroperasi atau ditutup.

Menurut Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 29 Tahun 2011 tentang Persyaratan Teknis Bangunan Stasiun Kereta Api, pembangunan stasiun harus memperhatikan beberapa aspek penting yang meliputi persyaratan penempatan, persyaratan teknis, serta dukungan terhadap kegiatan operasional perkeretaapian.

1. Persyaratan Penempatan

   a. Lokasi stasiun harus disesuaikan dengan pola operasi perjalanan kereta api yang berlaku.

   b.Keberadaan stasiun harus mampu mendukung sistem operasional perkeretaapian secara efektif.

   c. Pembangunan stasiun tidak boleh menimbulkan gangguan terhadap lingkungan di sekitarnya.

   d. Stasiun wajib memenuhi ketentuan keselamatan dan keamanan sesuai dengan standar yang berlaku.

2. Persyaratan Teknis

   Bangunan stasiun harus direncanakan dan dibangun sesuai dengan ketentuan teknis yang mencakup aspek konstruksi, material, desain, dimensi, serta kapasitas bangunan. Seluruh elemen bangunan harus mampu menjamin keselamatan, keamanan, dan kelancaran operasional selama masa layanannya.

3. Dukungan terhadap Kegiatan Operasional

   a. Bangunan stasiun harus mampu mendukung proses kedatangan dan keberangkatan penumpang tanpa mengganggu perjalanan kereta api.

   b. Tata ruang di dalam stasiun perlu dirancang secara efisien agar kegiatan operasional dapat berlangsung dengan lancar dan memberikan kenyamanan bagi pengguna.

   c. Fasilitas stasiun harus disesuaikan dengan jam operasional kereta api serta kebutuhan sumber daya manusia yang mendukung kegiatan operasional tersebut.

## 2.11 Drainase

Drainase merupakan salah satu elemen penting pada konstruksi jalan rel yang berfungsi mengendalikan aliran air di sekitar jalur kereta api. Drainase memiliki peran dalam mengalirkan air yang berada di permukaan maupun di bawah badan jalan rel sehingga kondisi konstruksi tetap stabil dan aman. Penggunaan drainase permukaan pada jalan rel diatur dalam Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 60

Tahun 2012 dan termasuk dalam bagian konstruksi jalan rel bawah. Adapun beberapa persyaratan yang harus dipenuhi dalam perencanaan drainase jalan rel, yaitu sebagai berikut :

1. Struktur drainase harus memiliki kemiringan minimum 0.3% untuk mencegah terjadinya pengendapan material didalam saluran.
2. Saluran subdrainase yang menggunakan pipa harus memiliki diameter minimum 15 cm agar proses pemeliharaan dan pembersihan dapat dilakukan dengan mudah
3. Pada badan jalan rel yang berada di atas tanah timbunan, lapis dasar harus dibuat dengan kemiringan 5% sehingga air dapat mengalir menuju lereng
4. Untuk jalur ganda, diperlukan saluran drainase yang ditempatkan di antara kedua jalur rel, sperti *U-Ditch* atau *French Drain*
5. Lapis dasar jalan rel harus mampu mendukung beban konstruksi secara aman dengan ketentuan bagian bawah fondasi berada sekurang – kurang 0,75 meter di atas muka air tanah tertinggi.

Perencanaan sistem drainase memerlukan berbagai tahapan analisis yang harus mengacu pada peraturan dan standar yang berlaku. Dalam proses perancangannya, terdapat beberapa komponen utama yang harus diperhatikan agar sistem drainase dapat berfungsi secara optimal. Setiap komponen memiliki peranan penting dan saling mendukung dalam menjaga kinerja sistem drainase. Adapun komponen-komponen tersebut meliputi:

1. Drainase Bawah Permukaan

   Drainase bawah permukaan (sub-drainase) merupakan sistem drainase yang ditempatkan di bawah permukaan tanah menggunakan pipa tertutup yang ditanam pada kedalaman tertentu. Sistem ini berfungsi mengendalikan keberadaan air tanah di sekitar struktur jalan rel sehingga tidak menurunkan daya dukung tanah dasar. Dengan adanya sub-drainase, kondisi tanah di bawah badan jalan rel dapat tetap stabil dan aman terhadap pengaruh air tanah yang berlebihan.
2. Drainase Permukaan

Drainase permukaan adalah sistem drainase yang berfungsi mengalirkan air di permukaan tanah melalui saluran terbuka maupun tertutup pada konstruksi jalan rel. Saluran ini bertujuan mencegah terjadinya genangan air yang dapat mengganggu kestabilan jalur kereta api. Dalam penerapannya, saluran drainase permukaan umumnya dibuat menggunakan pasangan batu atau beton bertulang sesuai kebutuhan dan kondisi lapangan.

3. Analisis Curah Hujan Rencana

   Hujan rencana merupakan estimasi curah hujan yang diperkirakan terjadi pada periode tertentu berdasarkan data hasil pengamatan dari stasiun hujan. Dalam perhitungannya, diperlukan data curah hujan dengan panjang pencatatan minimal 10 tahun sesuai ketentuan dalam. Buku Saku Petunjuk Konstruksi Drainase dan Irigasi Kementerian PUPR (2022). Data tersebut dapat diperoleh dari stasiun hujan terdekat yang dikelola oleh BMKG.

4. Analisis Frekuensi

   Analisis frekuensi merupakan metode yang digunakan untuk memperkirakan kemungkinan terjadinya suatu kejadian hidrologi berdasarkan data historis serta untuk memprediksi peluang kejadiannya di masa mendatang. Dalam analisis curah hujan, beberapa metode distribusi yang umum digunakan antara lain distribusi Gumbell, Log Normal, dan Log Pearson Tipe III. Pemilihan metode tersebut bertujuan untuk memperoleh nilai curah hujan rencana dengan periode ulang tertentu sesuai kebutuhan perencanaan. Metode-metode tersebut direkomendasikan dalam Buku Saku Petunjuk Konstruksi Drainase dan Irigasi Kementerian PUPR (2022).

   a. Metode Distribusi Gumbell

   Metode Distribusi Gumbel merupakan salah satu metode analisis frekuensi yang digunakan untuk memperkirakan besarnya curah hujan atau debit banjir ekstrem dengan periode ulang tertentu. Metode ini umumnya diterapkan pada data hidrologi yang berkaitan dengan nilai maksimum tahunan.

b. Metode Distribusi Log Normal

Metode Distribusi Log Normal digunakan untuk menganalisis data hidrologi yang setelah ditransformasikan ke dalam bentuk logaritma mengikuti pola distribusi normal. Metode ini sering digunakan dalam perhitungan curah hujan rencana dan debit banjir rencana.

c. Metode Distribusi Log Pearson Tipe III

Metode Distribusi Log Pearson Tipe III merupakan metode analisis frekuensi yang banyak digunakan dalam bidang hidrologi karena mampu mengakomodasi data yang memiliki tingkat kemencengan (*skewness*) tertentu. Distribusi ini digunakan untuk menentukan nilai curah hujan atau debit rencana berdasarkan kala ulang yang dipilih.

d. Metode Distribusi Chi-Kuadrat

Metode Chi-Kuadrat merupakan uji kecocokan distribusi (*goodness of fit test*) yang digunakan untuk mengetahui tingkat kesesuaian antara data hasil pengamatan dengan distribusi probabilitas yang digunakan dalam analisis frekuensi. Hasil uji ini menjadi dasar dalam menentukan distribusi yang paling sesuai untuk digunakan dalam perhitungan hidrologi.

Adapun syarat yang harus dipenuhi disetiap metode diatas tersaji pada **Tabel 2. 13.**

**Tabel 2. 13** Syarat Tipe Distribusi Curah Hujan

| No | Tipe Distribusi | Syarat |
|---|---|---|
| 1 | Gumbel | Cs = 1,14 |
| | | Ck = 5,4 |
| 2 | Log Normal | Cs = CV3 + 3Cv |
| | | Ck = Cv8 + 6Cv6 + 15Cv4 + 16Cv2 + 3 |
| 3 | Log Pearson III | Selain tipe lainnya |
| 4 | Normal | Cs = 0 |
| | | Ck = 3 |

Sumber **:** Buku Saku Petunjuk Konstruksi Drainase dan Irigasi Kementerian PUPR (2022).

5. Analisis Debit Banjir Rencana

   Debit banjir rencana merupakan besarnya debit puncak yang diperkirakan terjadi pada suatu sungai atau saluran untuk periode ulang tertentu. Menurut Prosedur dan Instruksi Kerja Perhitungan Debit Banjir Rencana Kementerian PUPR (2011), nilai debit ini ditentukan berdasarkan kala ulang yang dipilih, seperti 1, 5, 10, 25, atau 50 tahun.

6. Intensitas Curah Hujan

   Intensitas curah hujan merupakan besarnya curah hujan yang dinyatakan dalam tinggi atau volume hujan per satuan waktu selama periode tertentu ketika aliran air hujan terkonsentrasi. Menurut Wesli (2008), nilai intensitas hujan dapat berbeda-beda pada setiap wilayah karena dipengaruhi oleh kondisi geografis serta faktor iklim setempat.

7. Daerah Tangkapan Air Hujan

   Daerah tangkapan air hujan adalah suatu kawasan yang berfungsi menampung air hujan yang jatuh di atasnya dan mengalirkannya menuju saluran drainase atau badan air penerima. Luas wilayah tangkapan menjadi salah satu faktor yang memengaruhi besarnya debit aliran permukaan, sehingga semakin luas daerah tangkapan maka volume air yang terkumpul juga akan semakin besar. Penentuan batas daerah tangkapan air umumnya dilakukan berdasarkan kondisi topografi dengan memperhatikan arah aliran air dari elevasi yang lebih tinggi ke elevasi yang lebih rendah. Pada wilayah yang relatif datar, pembagian daerah tangkapan dapat diasumsikan merata ke arah saluran drainase yang tersedia. Sedangkan pada wilayah dengan kontur berbukit, batas daerah tangkapan ditentukan mengikuti punggung bukit dan pola aliran alami yang terbentuk oleh kondisi medan setempat (Nurhamidin, 2015).

8. Koefisien Pengalian

Koefisien pengaliran merupakan nilai yang menunjukkan besarnya proporsi air hujan yang berubah menjadi aliran permukaan. Nilai koefisien ini dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti kondisi penutup lahan, kemiringan permukaan tanah, serta jenis tanah yang terdapat pada suatu daerah. Nilai koefisien pengaliran yang digunakan dalam perencanaan dapat dilihat pada **Tabel 2. 14**.

**Tabel 2. 14** Koefisien Aliran

| No. | Kondisi permukaan tanah | Koefisien pengaliran (C) |
|---|---|---|
| 1 | Jalan beton & jalan aspal | 0,70 – 0,95 |
| 2 | Jalan kerikil & jalan tanah | 0,40 – 0,70 |
| 3 | Bahu jalan - Tanah berbutir halus | 0,40 – 0,65 |
| | Bahu jalan - Tanah berbutir kasar | 0,10 – 0,20 |
| | Bahu jalan - Batuan masif keras | 0,70 – 0,85 |
| | Bahu jalan - Batuan masif lunak | 0,60 – 0,75 |
| 4 | Daerah perkotaan | 0,70 – 0,95 |
| 5 | Daerah pinggir kota | 0,60 – 0,70 |
| 6 | Daerah industri | 0,60 – 0,90 |
| 7 | Permukiman padat | 0,40 – 0,60 |
| 8 | Permukiman tidak padat | 0,40 – 0,60 |
| 9 | Taman dan kebun | 0,20 – 0,40 |
| 10 | Persawahan | 0,45 – 0,60 |
| 11 | Perbukitan | 0,70 – 0,80 |
| 12 | Pegunungan | 0,75 – 0,90 |

Sumber **:** Buku Saku Petunjuk Konstruksi Drainase dan Irigasi Kementerian PUPR (2022).

9. Sistem Drainase

Perencanaan sistem drainase merupakan tahapan yang dilakukan untuk menentukan dimensi saluran agar mampu menampung debit aliran yang terjadi. Dalam proses perencanaannya, dilakukan perbandingan antara kapasitas aliran yang dapat ditampung oleh saluran dengan debit rencana yang harus dialirkan. Suatu saluran drainase dinyatakan memenuhi syarat apabila kapasitas saluran lebih besar daripada debit yang terjadi, sehingga tidak menimbulkan genangan maupun luapan. Kriteria tersebut dapat

dinyatakan dengan hubungan ($Q_{hitung} < Q_{rencana}$) dengan angka Kekerasan Manning yang tertera pada **Tabel 2. 15.**

**Tabel 2. 15** Angka Kekasaran Manning

| No | Tipe Saluran | Baik Sekali | Baik | Sedang | Jelek |
|---|---|---|---|---|---|
| | Saluran Buatan | | | | |
| 1 | Saluran tanah, lurus teratur | 0,017 | 0,020 | 0,023 | 0,025 |
| 2 | Saluran tanah yang dibuat dengan excavator | 0,023 | 0,028 | 0,030 | 0,040 |
| 3 | Saluran pada dinding batuan, lurus, teratur | 0,020 | 0,030 | 0,033 | 0,035 |
| 4 | Saluran pada dinding batuan, tidak lurus, tidak teratur | 0,035 | 0,040 | 0,045 | 0,045 |
| 5 | Saluran batuan yang diledakkan, ada tumbuh-tumbuhan | 0,025 | 0,030 | 0,035 | 0,040 |
| 6 | Dasar saluran dari tanah, sisi saluran berbatu | 0,028 | 0,030 | 0,033 | 0,035 |
| 7 | Saluran lengkung, dengan kecepatan aliran rendah | 0,020 | 0,025 | 0,028 | 0,030 |
| | Saluran Alam | | | | |
| 8 | Bersih, lurus, tidak berpasir dan tidak berlubang | 0,025 | 0,028 | 0,030 | 0,033 |
| 9 | Seperti no.8 tapi ada timbunan atau kerikil | 0,030 | 0,033 | 0,035 | 0,040 |
| 10 | Melengkung, bersih, berlubang dan berdinding pasir | 0,030 | 0,035 | 0,040 | 0,045 |
| 11 | Seperti no.10, dangkal, tidak teratur | 0,040 | 0,045 | 0,050 | 0,055 |
| 12 | Seperti no.10, berbatu dan ada tumbuh-tumbuhan | 0,035 | 0,040 | 0,045 | 0,050 |
| 13 | Seperti no.11, sebagian berbatu | 0,045 | 0,050 | 0,055 | 0,060 |
| 14 | Aliran pelan, banyak tumbuh-tumbuhan dan berlubang | 0,050 | 0,060 | 0,070 | 0,080 |
| 15 | Banyak tumbuh-tumbuhan | 0,075 | 0,100 | 0,125 | 0,150 |
| | Saluran Buatan, Beton, atau Batu Kali | | | | |
| 16 | Saluran pasangan batu, tanpa penyelesaian | 0,025 | 0,030 | 0,033 | 0,035 |
| 17 | Seperti no.16, tapi dengan penyelesaian | 0,017 | 0,020 | 0,025 | 0,030 |
| 18 | Saluran beton | 0,014 | 0,016 | 0,019 | 0,021 |
| 19 | Saluran beton halus dan rata | 0,010 | 0,011 | 0,012 | 0,013 |
| 20 | Saluran beton pracetak dengan acuan baja | 0,013 | 0,014 | 0,014 | 0,015 |
| 21 | Saluran beton pracetak dengan acuan kayu | 0,015 | 0,016 | 0,016 | 0,018 |

Sumber **:** Buku Saku Petunjuk Konstruksi Drainase dan Irigasi Kementerian PUPR 2022

10. Tinggi Jagaan

Tinggi jagaan merupakan jarak vertikal antara elevasi muka air rencana dengan puncak saluran drainase yang direncanakan. Keberadaan tinggi jagaan berfungsi sebagai cadangan ruang untuk mengantisipasi kenaikan muka air sehingga air tidak meluap keluar saluran. Besarnya tinggi jagaan yang digunakan dalam perencanaan saluran drainase mengacu pada ketentuan yang dikemukakan oleh Anggrahini (1997), sebagaimana disajikan pada **Tabel 2. 16.**

**Tabel 2. 16** Standar Tinggi Jagaan untuk Saluran Terbuka

| Debit ($m^3$/ detik) | Tinggi Jagaan (m) |
|---|---|
| <0,5 | 0,20 |
| 0,5 – 1,5 | 0,20 |
| 1,5 – 5,0 | 0,25 |
| 5,0 – 10,0 | 0,30 |
| 10,0 – 15,0 | 0,40 |
| >15,0 | 0,50 |

Sumber :Buku Saku Petunjuk Konstruksi Drainase dan Irigasi Kementerian PUPR 2022