

BAB 5

BERAT PESAWAT DAN KINERJA PESAWAT TERBANG

5.1 KOMPONEN BERAT PESAWAT

Dalam perencanaan Bandar udara beban pesawat diperlukan untuk menentukan perkerasan runway, dan apron yang dibutuhkan.

Beberapa jenis beban pesawat yang berhubungan dengan pengoperasian pesawat, antara lain :

- ***Operating Weight Empty***, OWE (Berat Operasi Kosong)

Merupakan bebean dasar pesawat, termasuk awak pesawat dan peralatan pesawat, tetapi tidak termasuk muatan (*payload*) dan bahan bakar.

- ***Payload*** (Muatan)

Merupakan beban yang diperhitungkan akan menghasilkan pendapatan bagi perusahaan / maskapai penerbangan. Termasuk didalamnya penumpang, barang, surat-surat, apket-paket, dan kelebihan bagasi.

- ***Zero Fuel Weight, ZFW*** (Berat Bahan Bakar Kosong)

Merupakan beban maksimum yang terdiri atas berat operasi kosong, beban penumpang dan barang.

Tabel 5.1 Contoh komponen berat yang ada pada pesawat Boeing 777-series
(Boeing, 2009 [2])

CHARACTERISTICS	UNITS	777-200LR	777-300ER	777-F
<i>MAX DESIGN</i>	<i>POUNDS</i>	768,000	777,000	768,800
<i>TAXI WEIGHT</i>	<i>KILOGRAMS</i>	348,358	352,442	348,722
<i>MAX DESIGN</i>	<i>POUNDS</i>	766,000	775,000	766,800
<i>TAKEOFF WEIGHT</i>	<i>KILOGRAMS</i>	347,452	554,000	347,815
<i>MAX DESIGN</i>	<i>POUNDS</i>	492,000	251,290	575,000
<i>LANDING WEIGHT</i>	<i>KILOGRAMS</i>	233,168	524,000	260,816
<i>MAX DESIGN ZERO</i>	<i>POUNDS</i>	461,000	237,683	547,000
<i>FUEL WEIGHT</i>	<i>KILOGRAMS</i>	209,106	370,000	248,115
<i>OPERATING</i>	<i>POUNDS</i>	320,000	167,829	318,300
<i>EMPTY WEIGHT (1)</i>	<i>KILOGRAMS</i>	145,150	154,000	144,379
<i>MAX STRUCTURAL</i>	<i>POUNDS</i>	141,000	69,853	228,700
<i>PAYLOAD</i>	<i>KILOGRAMS</i>	63,957	339 (2)	103,737
<i>TYPICAL SEATING</i>	<i>TWO-CLASS</i>	279 (4)	370 (7)	N/A
<i>CAPACITY</i>	<i>THREE-CLASS</i>	301 (5)	7,552 (2)	N/A
<i>MAX CARGO</i>	<i>CUBIC FEET</i>	5,656 (2)	213,8 (2)	22,371 (3)
<i>-LOWER DECK</i>	<i>CUBIC METER</i>	160,2 (2)	160,2 (2)	633,5 (3)
<i>USABLE FUEL</i>	<i>US GALLONS</i>	47,890	47,890	47,890
	<i>LITERS</i>	181,283	181,283	181,283
	<i>POUNDS</i>	320,863	320,863	320,863
	<i>KILOGRAMS</i>	145,538	145,538	145,538

- ***Maximum Taxi Weight***, MTV (Berat Taksi Maksimum)

Merupakan beban maksimum untuk melakukan gerakan atau berjalan dari parkir pesawat ke pangkal runway.

- ***Maximum Take Off Weight***, MTOW (Berat Maksimum Lepas Landas)

Merupakan beban maksimum pada awal lepas landas sesuai dengan bobot pesawat dan persyaratan kelayakan penerbangan.

- ***Maximum Landing Weight***, MLW (Berat Maksimum Pendaratan)

Merupakan beban maksimum pada saat roda pesawat menyentuh lapis keras (mendarat) sesuai dengan bobot pesawat dan persyaratan kelayakan penerbangan.

Bahan bakar pesawat yang diperlukan dalam beroperasi terdiri atas dua komponen :

- ***Trip-fuel*** (bahan bakar diperlukan untuk perjalanan)

Bahan bakar ini bergantung pada jarak yang akan ditempuh pesawat, ketinggian jelajah, dan payload.

- ***Fuel reserve*** (bahan bakar cadangan)

Bahan bakar ini merupakan bahan bakar cadangan yang diperlukan untuk cadangan terbang ke Bandar udara alternative. Bahan bakar ini jumlahnya ditentukan oleh peraturan Direktorat Jenderal Perhubungan Udara (di Indonesia) atau FAA di Amerika.

Berdasarkan penjelasan tersebut, diketahui bahwa berat pesawat terdiri atas *Operating Weight Empty* (berat operasi kosong) ditambah tiga komponen:

- *Payload* (muatan)
- *Trip-fuel* (bahan bakar perjalanan)
- *Fuel reserve* (bahan bakar cadangan)

Pada saat mendarat, berat pesawat (MLW) terdiri dari *Operating Weight Empty* (OWE), payload, dan fuel reserve, dengan anggapan pesawat tidak mendarat ke bandara alternative, melainkan ke bandara tujuan. Besarnya MLW tidak boleh melebihi berat lepas landas.

Berat lepas landas terdiri atas berat waktu mendarat (MLW) ditambah dengan trip fuel. Berat ini tidak boleh melebihi *Maximum Take Off Weight* (MTOW).

Tabel 5.2 Karakteristik berat pesawat terbang komersial

<i>Type of Aircraft</i>	<i>Manufacture</i>	<i>ICAO Code</i>	<i>OMG-WS^b (m)</i>	<i>Length (m)</i>	<i>wing-span (m)</i>	<i>Maximum Take Off Weight, MTOW (kg)</i>	<i>Maximum Landing Weight, MLW (kg)</i>	<i>Operating Weight Empty (kg)</i>	<i>Aeroplane References Field Length (m)</i>	<i>Seating capacity</i>	<i>Range (km)</i>
B777-300ER [2]	Boeing	4E	12,90	73,90	64,80	351.535	251.290	167.829	3.120	339-370	13.520
B747-400 [3]	Boeing	4E	12,60	70,60	64,40	394.626	285.764	178.756	2.890	400	14.180
B737-800NG [4]	Boeing	4C	6,40	39,50	34,30	70.534	65.317	41.413	2.090	160-184	5.425
B737-200 [4]	Boeing	4C	6,40	29,54	28,40	45.359	43.091	27.170	2.295	90-136	2.855
B737-300 [4]	Boeing	4C	6,40	32,18	31,10	56.472	51.710	31.479	2.749	128-149	3.515
B737-400 [4]	Boeing	4C	6,40	33,40	28,90	62.823	54.885	33.189	2.499	146-189	4.005
B737-500 [4]	Boeing	4C	6,40	29,79	28,88	52.390	49.896	31.311	2.470	108-149	3.515
B737-900ER [4]	Boeing	4C	6,40	40,67	35,79	74.389	66.361	44.677	2.240	177-215	5.900
B737-MAX 8*	Boeing	4C	6,40	39,47	35,92	82.191	69.309	45.046	2.330	160-204	5.825
A330-300 [5]	Airbus	4E	12,61	63,69	60,30	233.000	187.000	122.780	2.500	300	10.800
A330-200 [5]	Airbus	4E	12,61	58,82	60,30	230.000	180.000	120.150	2.220	246	13.400
A320-200 [6]	Airbus	4C	8,70	37,60	34,10	73.500	64.500	40.291	2.058	180	6.480
A350-XWB	Airbus	4E	12,30	73,88	64,75	308.000	233.000	111.130	2.438	366-440	14.800
CJR1000 [7]	Bombardier	4C	5,00	39,10	26,20	41.640	36.968	23.179	2.120	104	2.491
ATR 72 600 [8]	ATR	3C	4,90	27,16	27,05	22.800	22.350	13.311	1.367	70	1.648
ATR 72 500 [9]	ATR	3C	4,90	22,67	24,57	18.600	18.300	11.250	1.215	48	1.500
ATR 42 300 [10]	ATR	2C	4,90	22,67	24,57	16.700	16.400	10.290	1.010	48	1.130
Fokker 50 [11]	Fokker	3C	8,00	25,25	29,00	20.820	20.030	14.780	1.760	46-56	2.632
Fokker 100 [11]	Fokker	4C	5,80	35,53	28,08	45.810	39.915	26.009	1.820	100	2.505
B747-8 [17]	Boeing	4E	12,7	75,24	68,40	447.696	312.072	220.128	3.291	506	14.780
B787[18]	Boeing	4E	11,9	62,81	60,12	227.930	172.365	117.798	3.139	381	15.190
A319 [19]	Airbus	4C	8,95	33,84	35,8	75.500	61.000	39.884	1.945	142	6.845
MD-82 [20]	McDonnell Douglas	4C	6,20	48,51	32,9	67.912	58.967	35.369	2.280	243-409	3.800
A380 [21]	Airbus	4F	14,30	72,73	79,75	573.000	393.000	277.000	3.350	555	15.200
B767 – 400ER [22]	Boeing	4D	10,80	48,51	51,9	204.116	158.757	103.147	3.130	243-409	10.400

^a A350-XWB -1000 dalam pemesanan oleh Garuda Indonesia, Juli 2015

^b Outer main gear wheel spa

Tabel 5.3 Memberi gambaran alternative distribusi komponen berat pesawat. Tampak bahwa saat jarak tempuh pesawat makin jauh, trip fuel meningkat, di lain sisi, bagian payload turun.

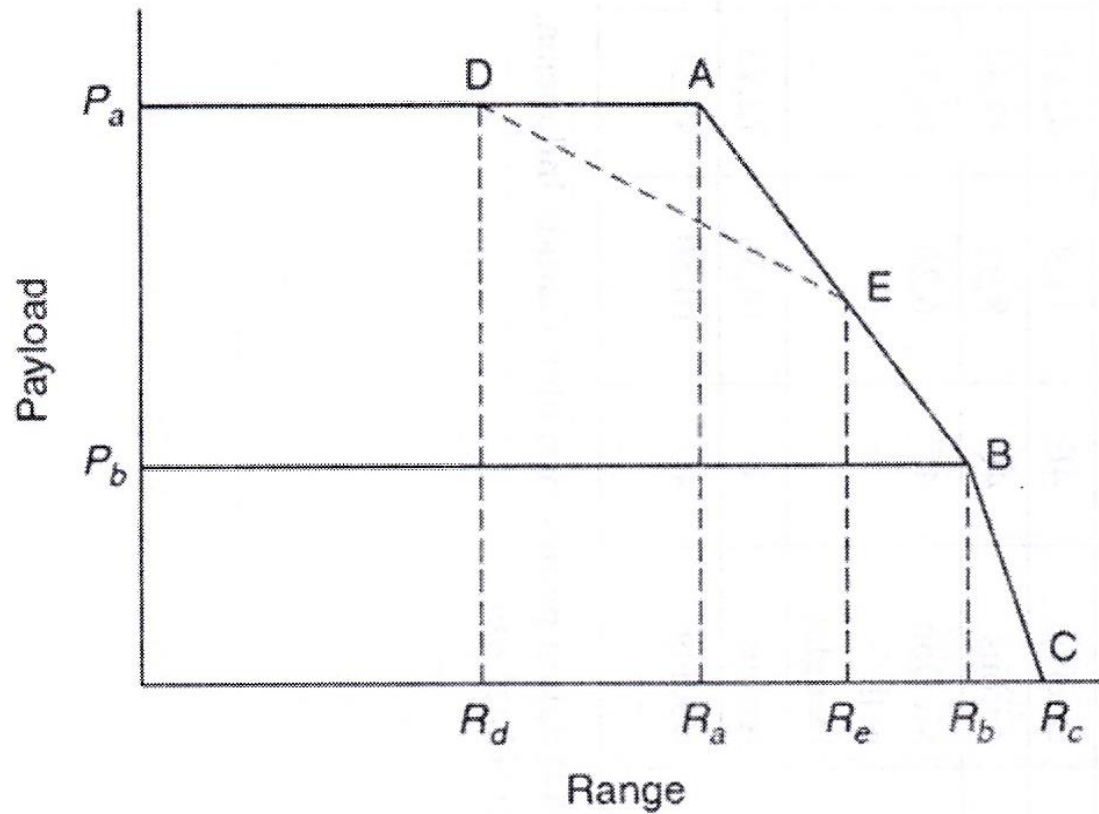
Tabel 5.3 Contoh distribusi komponen berat pesawat (Horonjeff, 2010)

	Persentase <i>take off weight</i>			
	<i>Operating Weight Empty (OWE)</i>	<i>Payload</i>	<i>Trip-fuel</i> (bahan bakar perjalanan)	<i>Fuel reserve</i> (bahan bakar cadangan)
Jarak pendek	66	24	6	4
Jarak menengah	59	16	21	4
Jarak jauh	44	10	42	5

5.2 PAYLOAD (MUATAN) DAN JARAK TEMPUH

Jarak maksimum yang dapat ditempuh oleh suatu pesawat dengan jumlah bahan bakar tertentu (di tangki bahan bakar) dikenal dengan *aircraft's range*. Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi *aircraft's range* (jarak tempuh pesawat), yang paling *payload*. Secara normal, jarak tempuh pesawat meningkat ketika payload dikurangi.

Hubungan antara *payload* dan *range* (jarak tempuh) ditunjukkan pada gambar 5.1.



Gambar 5.1 Tipikal hubungan antara *payload* dan *range*/jarak tempuh (Horonjeff, 2010)

Titik A menunjukkan *range* (jarak tempuh) terjauh R_a yang bisa dicapai pesawat dengan *payload* maksimum (P_a). Untuk terbang dengan jarak R_a dan membawa *payload* P_a , pesawat harus *take off* (lepas landas) dengan *maximum structural take off weight* (berat maksimum struktur pada saat lepas landas), yang berarti tangki bahan bakar tidak terisi penuh.

Titik B menunjukkan jarak terjauh R_b yang bisa ditempuh pesawat dengan tangki bahan bakar diisi penuh di awal penerbangan. Payload yang dapat diangkut adalah P_b . Untuk terbang dengan jarak R_b , pesawat lepas landas dengan maximum structural take off weight. Dengan kata lain, untuk memperpanjang jarak tempuh pesawat terbang dari R_a ke R_b maka payload harus dikurangi untuk menambah bahan bakar.

Titik C menunjukkan jarak maksimum yang bisa diterbangkan pesawat R_c tanpa mengisi *payload* sama sekali. Keadaan ini disebut dengan *ferry range* dan digunakan biasanya pada saat mengantarkan pesanan pesawat ke pembeli.

5.3 PENGARUH KINERJA PESAWAT TERHADAP PANJANG RUNWAY

5.3.1 Pendahuluan

Untuk mendiskusikan sub-bab ini perlu dijelaskan beberapa pengertian dan definisi:

a. *Decision Speed* (v_1), (Kecepatan Putusan)

Kecepatan putusan adalah kecepatan ketika *engine failure* (kegagalan mesin) biasanya terjadi.

b. *Initial Climb Out Speed* (v_2), (Kecepatan Awal Pesawat Menanjak)

Kecepatan awal untuk menanjak adalah kecepatan minimum yang diperkanankan kepada pilot untuk menanjak sesudah pesawat mencapai ketinggian 35 feet (10,5 m) di atas permukaan runway.

c. *Rotation Speed* (v_r), (Kecepatan Rotasi)

Kecepatan rotasi adalah kecepatan saat pilot memulai rotasi pesawat yang menyebabkan *nose gear* (roda depan) terangkat.

d. *Lift-off Speed* (v_{loff}), (Kecepatan Angkat)

Kecepatan ketika pesawat pertama kalinya terangkat ke udara.

e. *Take Off Run (TOR)*, (Jarak Lepas Landas)

Jarak untuk percepatan pesawat dari brake release (pelepasan rem) sampai pesawat terangkat, ditambah faktor aman.

f. *Accelerate Stop Distance (ASD)*, (Jarak Percepatan Henti)

Jarak untuk percepatan pesawat dari brake release (pelepasan rem) sampai V1 dan perlambatan untuk berhenti, ditambah faktor aman.

g. *Take Off Distance (TOD)*, (Jarak Lepas Landas)

Jarak untuk percepatan pesawat dari brake release (pelepasan rem) sampai pesawat terangkat lalu mulai menanjak (ketinggian 35 feet ditambah faktor keamanan).

h. *Landing Distance (LD)*, (Jarak Pendaratan)

Jarak dari threshold (tepi permulaan *runway*) untuk pesawat menyelesaikan approach (pendekatan), touchdown (pendaratan) dan perlambatan hingga berhenti, ditambah faktor keamanan.

i. *Clearway* (CWY)

Clearway adalah suatu daerah tertentu di ujung runway tinggal landas yang terdapat di permukaan tanah maupun permukaan air di bawah pantauan operator bandar udara, yang dipilih dan ditujukan sebagai daerah yang aman bagi pesawat saat mencapai ketinggian tertentu. *clearway* juga merupakan daerah bebas terbuka yang disediakan untuk melindungi pesawat saat melakukan manuver pendaratan maupun lepas landas.

j. *Stopway* (SWY)

Suatu area tertentu yang berbentuk segi empat yang ada di permukaan tanah terletak di akhir runway bagian take off runway (runway tinggal landas) yang dipersiapkan sebagai tempat berhenti pesawat saat terjadi pembatalan kegiatan take off (tinggal landas).

5.3.2 Pengaruh Kinerja Pesawat

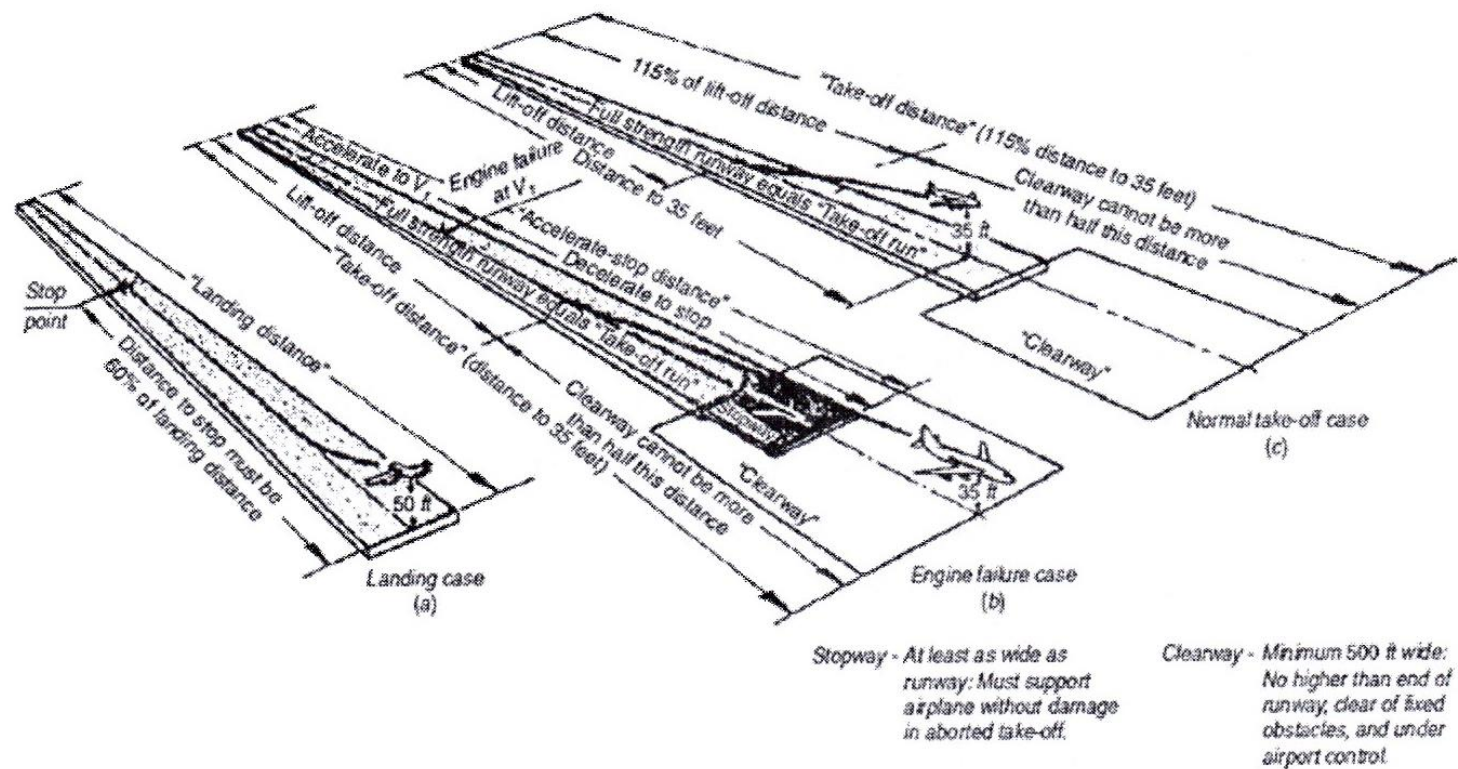
Didalam menghitung kebutuhan panjang runway, dipakai peraturan yang dikenal sebagai *Federal Aviation Regulation* (FAR). Regulasi ini disusun oleh Amerika Serikat.

Peraturan mengenai pesawat bermesin turbin mempertimbangkan tiga kasus utama:

- a. *Normal take off cases* (lepas landas dengan normal) adalah kondisi ketika seluruh mesin berjalan dan runway yang ada cukup panjangnya untuk mengakomodasi variasi teknik pengangkatan (*lift-off*) pesawat dan berbagai karakteristik khusus dari performa pesawat.
- b. *Engine failure cases* (lepas landas dengan anggapan mesin gagal), adalah kondisi ketika *runway* yang ada memiliki panjang yang cukup, agar pesawat dapat melanjutkan perjalanan walaupun kehilangan tenaga, atau agar pesawat dapat direm untuk berhenti darurat (*emergency stop*)

c. *Landing cases* (pendaratan), adalah kondisi ketika *runway* yang ada memiliki panjang yang cukup untuk berbagai teknik pendaratan, *over shoot*, pendaratan yang jelek dan semacamnya.

Panjang runway yang dibutuhkan pada sebuah bandar udara untuk pesawat bermesin turbin dengan berat tertentu, diambil yang terpanjang di antara ketiga kasus di atas.



Gambar 5.2 Pengaruh kinerja pesawat bermesin turbin pada kebutuhan panjang *runway* (Horonjeff, dkk., 2010[1])

a. *Normal take off cases* (kasus lepas landas dengan normal)

Gambar 5.2. menunjukkan *Take Off Distance* (TOD)/jarak lepas landas yang disyaratkan untuk pesawat dalam kondisi *normal take off* (lepas landas normal) dengan seluruh mesin beroperasi.

Clearway (CWY) sebagai perpanjangan di akhir runway, disyaratkan memiliki kelandaian memanjang tidak lebih dari 1,25%.

Kasus *normal take off* dapat dirangkum dalam Gambar 5.3 dan persamaan berikut.

$$FL_1 = FS_1 + CWY_{1max} \quad (5.1)$$

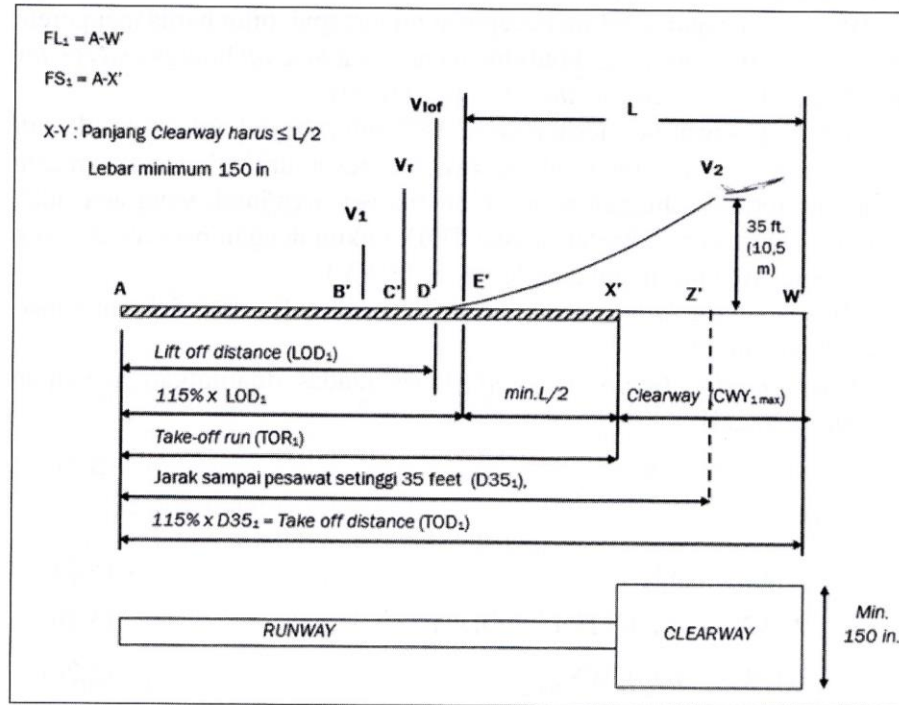
dengan

$$TOD_1 = 1,15 D35_1 \quad (5.1a)$$

$$CWY_{1max} = 0,50 [TOD_1 - 1,15 (LOD_1)] \quad (5.1b)$$

$$TOR_1 = TOD_1 - CWY_{1max} \quad (5.1c)$$

$$FS_1 = TOR_1 \quad (5.1d)$$



Gambar 5.3 Kasus *normal take off*

b. *Engine failure cases* (kasus lepas las dengan anggapan mesin gagal)

Regulasi (15, 16) menyatakan bahwa *Take Off Distance* (TOD) yang disyaratkan ketika terjadi kasus *engine failure* adalah jarak sesungguhnya pesawat mencapai ketinggian 35 feet (D35) tanpa penambahan persentase 15% seperti pada kasus *normal take off* karena *engine failure* biasanya jarang terjadi. Dalam kasus ini, regulasi memperbolehkan penggunaan clearway, yaitu maksimum setengah dari selisih antara *Lift Off Distance* (LOD) dan *Take Off Distance* (TOD).

Kasus *engine failure* dapat dirangkum dalam Gambar 5.4 dan persamaan di bawah ini :

- a. Kasus *engine failure take off* (lepas landas dilanjutkan meskipun mesin gagal).

$$FL_2 = FS_2 + CWY_{2\max}$$

dengan :

$$TOD_2 = D35_2$$

$$CWY_{2\max} = 0,50 (TOD_2 - LOD_2)$$

$$TOR_2 = TOD_2 - CWY_{2\max}$$

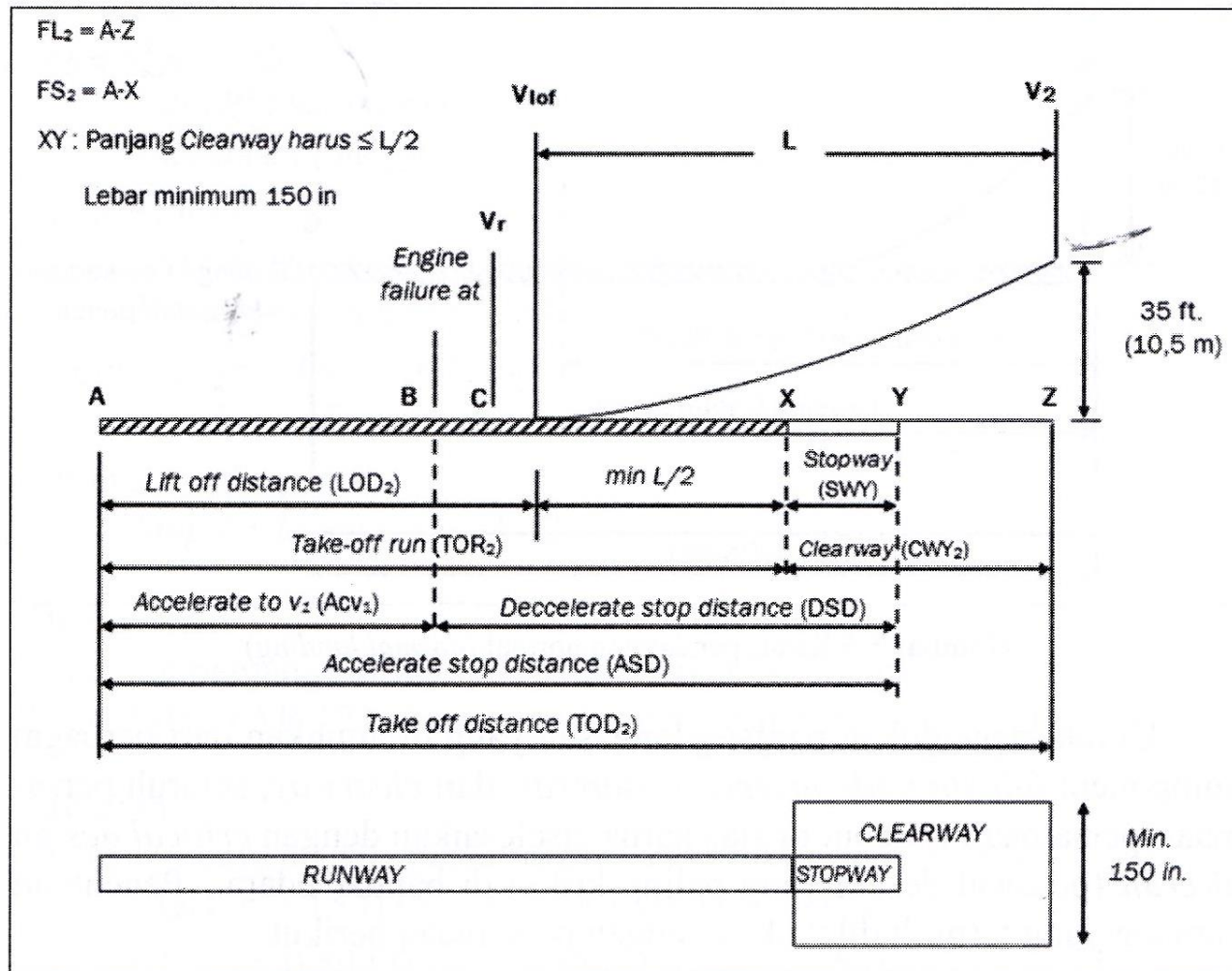
$$PS_2 = TOR_2$$

- b. Kasus *engine failure aborted take off* (lepas landas tidak dilanjutkan).

$$FL_3 = FS_2 + SWY$$

dengan

$$FL_3 = ASD$$



Gambar 5.4 Kasus *engine failure*

c. Landing cases (kasus pendaratan)

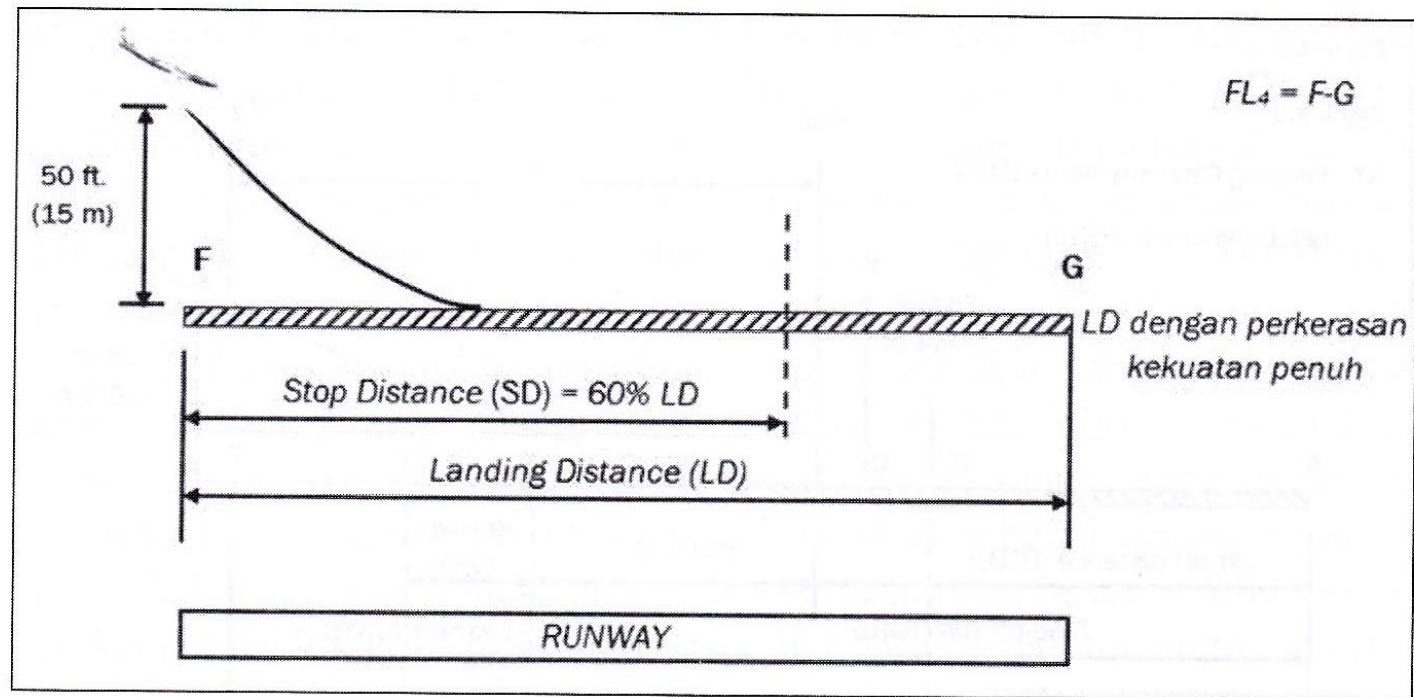
Gambar 5.2 menunjukkan Landing Distance (LD) yang dibutuhkan peraturan menyatakan bahwa LD yang dibutuhkan pesawat untuk mendarat pada suatu runway harus cukup hingga pesawat dapat berhenti sempurna (*full stop*).

Kasus *landing* dapat dirangkum dalam Gambar 5.5 dan persamaan berikut.

$FL4 = LD$
dengan

$$LD = \frac{SD}{0,60}$$

$$FS = LD$$



Gambar 5.5 Kasus pendaratan normal (*normal landing*)

Untuk menentukan panjang landasan yang dibutuhkan dari berbagai komponen: *full strength pavement*, *stopway*, dan *clearway*, seluruh persamaan-persamaan tersebut di atas harus diselesaikan dengan *critical design aircraft* (pesawat desain yang paling kritis) di bandar udara. Penentuan panjang yang terpilih dilakukan dengan persamaan berikut.

$$FL = \max[(TOD_1), (TOD_2), (DAS), (LD)] \quad (5.5)$$

$$FS = \max[(TOR_1), (TOR_2), (LD)] \quad (5.6)$$

$$SWY = [(DAS) - \max(TOR_1, TOR_2, LD)] \quad (5.7)$$

dengan SWY_{\min} adalah nol.

$$CWY = \min[(FL - DAS), (CWY_{1\max}), (CWY_{2\max})] \quad (5.8)$$

dengan CWY_{\min} adalah nol dan CWY_{\max} adalah 1.000 feet (300 meter)

Bila operasi pesawat (*take off* dan *landing*) di bandar udara menggunakan kedua arah *runway* maka komponen-komponen tersebut harus disediakan di kedua arah. Contoh Soal 5.1 menunjukkan penerapan peraturan ini untuk pesawat bermesin turbin.