

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Beberapa penelitian yang telah dilakukan mengenai batu bata merah, gempa, metode elemen hingga dan *displacement* serta tegangan, antara lain sebagai berikut.

- a. Studi Eksperimental tentang Pengaruh Dinding Batu Bata Merah Terhadap Ketahanan Lateral Struktur Beton Bertulang. (Tanjung dan Maidiawati, 2016).
- b. Analisis Gaya Gempa Bangunan Rumah Tinggal di Wilayah Gempa Tinggi. (Zebua, 2018).
- c. Analisis Gaya Dasar Seismik Berdasarkan SNI-03-1726-2002 dan SNI 1726-2012 pada Struktur Gedung Bertingkat. (Afriandini dan Saputro, 2018).
- d. Analisis Tegangan Bidang (*Plane Stress*) Dinding Geser (*Shear Wall*) Gedung Bertingkat. (Raharja dkk., 2017).
- e. Pengaruh Dinding Bata dengan Bukaan (Lobang) terhadap Ketahanan Lateral Stuktur Rangka Beton Bertulang. (Maidiawati dkk., 2017).
- f. Pengaruh Pasangan Dinding Bata pada Respon Dinamik Struktur Gedung Akibat Beban Gempa. (Indarto dkk., 2016).
- g. *Experimental and Numerical Analysis of Steel Joints in Round Wood*. (Mikolasek dkk., 2014).
- h. *Numerical Simulation of Yielding Supports in The Shape of Annular Tubes Under Static and Short-Term Dynamic Loading*. (Kumpyak dan Mescheulov, 2017).
- i. *Flexural Strength and Ductility of Concrete Brick Masonry Wall Strengthened Using Steel Reinforcement*. (Triwiyono dkk., 2017).
- j. *Multiscale 3D Finite-Element Modelling of The Thermal Conductivity of Clay Brick Walls*. (Alghamdi dan Alharthi, 2017).
- k. *Seismic Lateral Displacement Analysis and Design of an Earthquake-Resilient Dual Wall-Frame System*. (Feng dkk., 2018).

2.1.1. Penelitian Terdahulu dengan Analisis Perpindahan (*Displacement*) dan Tegangan

Afriandini dan Saputro (2018) melakukan penelitian pada gedung beton bertulang 7 lantai pada 6 ibukota provinsi di Pulau Jawa yang berpotensi gempa seperti kota Jakarta, Banten, Bandung, Semarang, Yogyakarta, dan Surabaya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui gaya geser dasar dan simpangan antar lantai yang termuat antara peraturan SNI 03-1726-2002 dan SNI 1726:2012. Metode yang digunakan adalah statik ekuivalen dan dibantu dengan *software* SAP2000. Hasilnya menunjukkan bahwa nilai gaya geser seismik dan simpangan antar lantai lebih besar menurut SNI 1726:2012 dibandingkan SNI 03-1726-2002. Penelitian Zebua (2018) menganalisis rumah tinggal 4 lantai di Kota Gunungsitoli Kepulauan Nias. Pada penelitian ini dibantu dengan *software* ETABS guna melakukan analisis beban gempa. Data yang didapat dari *software* tersebut adalah gaya aksial, geser dan momen. Hasil dari penelitian ini adalah simpangan antar lantai memenuhi syarat SNI 1726:2012.

Raharja dkk. (2017) melakukan penelitian dengan analisis *plane stress* atau analisis tegangan dan deformasi dari bangunan bertingkat dengan membuat *shear wall*. Untuk menghasilkan analisis tegangan bidang (*plane stress*) dapat dibantu dengan *software* Matlab yang kemudian divalidasi dengan *software finite element*, sedangkan untuk hasil perpindahan dilakukan perbandingan antara *software* Matlab dan SAP2000. Hasil dari penelitian ini adalah perhitungan *plane stress* pada Matlab teruji dengan *software finite element* dan nilai perpindahan arah x dan arah y pada kedua *software* adalah sama. Penelitian Feng dkk. (2018) berfokus pada analisis seismik dan desain sistem ganda dan kerangka penahan momen. Analisis perpindahan lateral elastis dilakukan berdasarkan pada kontinu yang setara, yang terdiri dari balok lentur dengan pegas rotasi di alas dan balok geser.

2.1.2. Dinding Batu Bata

Tanjung dan Maidiawati (2016) melakukan penelitian bahwa dinding bata mempunyai pengaruh terhadap ketahanan lateral struktur beton bertulang. Dijelaskan pasca gempa Sumatera Barat 2007, struktur bangunan dinding bata

merah hanya mengalami keretakan, sementara struktur bangunan yang tidak menggunakan dinding bata merah mengalami keruntuhan. Dalam penelitian ini dilakukan pengujian laboratorium dengan hasil dinding bata merah mempunyai pengaruh terhadap ketahanan struktur beton bertulang. Penggunaan bata merah dengan ukuran besar dan penggunaan plesteran pada kedua sisi dinding juga mempengaruhi peningkatan lateral. Dapat disimpulkan bahwa yang dapat bertahan akibat gempa bumi adalah bangunan dengan dinding bata merah. Sedangkan Triwiyono dkk. (2015) melakukan uji eksperimental pada kekuatan lentur dan daktilitas dinding batu bata yang diperkuat oleh tulangan baja. Hasil pengujian menunjukkan bahwa variasi kekuatan lentur spesimen dinding tanpa perkuatan sangat tinggi. Kapasitas lentur dan daktilitas dinding yang diperkuat meningkat secara signifikan, hingga 5-16 kali lebih tinggi daripada dinding yang tidak diperkuat.

Indarto dkk. (2016) melakukan penelitian dengan Metode Riwayat Waktu (*Time History Analysis*) menggunakan gempa El-Centro. Hasil dari penelitian yaitu *base shear* yang terjadi pada struktur dengan dinding bata lebih besar 20 % dibandingkan struktur tanpa dinding bata. Metode Statik Ekuivalen cukup aman untuk memperkirakan beban gempa yang bekerja pada struktur, karena perbedaan distribusi gaya gempa sebesar kurang dari 10%. Hasil analisis struktur tersebut tercantum dalam Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Gedung dan Non Gedung (SNI 1726:2012). Sedangkan Maidiawati dkk. (2017) melakukan penelitian pada dinding bata ada bukaan dan dinding bata penuh. Hasil penelitian menunjukkan keruntuhan didahului pada dinding batu bata kemudian terjadi keruntuhan pada kolom. Dinding dengan pengisi lebih besar kekakuan dan kekuatannya dibandingkan dinding tanpa pengisi. Kekuatan lateral pada dinding pengisi dua kali lebih besar daripada dinding tanpa pengisi.

2.1.3. Analisis Metode Elemen Hingga

Mikolasek dkk. (2014) menganalisis sambungan baja yang difokuskan pada kekakuan sambungan selama proses pembuatan. Dalam penelitian ini menggunakan metode elemen hingga dan model komputasi tiga dimensi dalam perhitungan numerik. Berbeda dengan Alghamdi dan Alharthi (2017)

menggunakan pemodelan elemen hingga untuk meningkatkan efisiensi isolasi termal dinding bata, efek dari bentuk rongga bata, panjang bata, mortar, dan dinding ganda pada perpindahan panas melalui dinding bata. Mortar beton meningkatkan konduktivitas termal ketebalan dinding hingga hampir 30% dan penggunaan isolasi mortar mengurangi transfer panas sebesar 29%. Dinding ganda dengan celah udara memiliki isolasi termal 39% lebih tinggi daripada dinding bata tunggal.

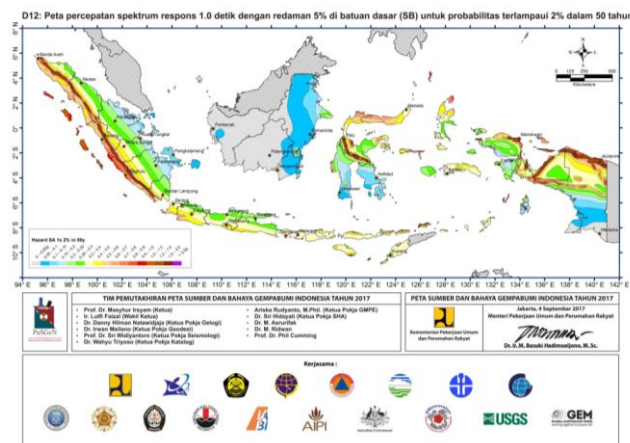
Kumpyak dan Mescheulov (2017) menyajikan studi numerik (elemen hingga, nonlinier tiga dimensi) kekuatan dan deformabilitas dukungan pelepasan dalam bentuk tabung annular di bawah pembebanan dinamis dan jangka pendek. Penelitian ini menentukan bahwa dengan peningkatan ketergantungan elemen kekakuan elemen deformasi antara beban dan deformasi penopang menghasilkan dalam tahap elastis dan plastis memiliki karakter linier. Oleh karena itu memungkinkan asumsi kemungkinan aplikasi mereka sebagai unit pendukung di konstruksi beton bertulang. Mikolasek dkk. (2014) menganalisis sambungan baja yang difokuskan pada kekakuan sambungan selama proses pembuatan. Dalam penelitian ini menggunakan metode elemen hingga dan model komputasi tiga dimensi dalam perhitungan numerik.

2.2. Dasar Teori

Penelitian ini menggunakan beberapa standardisasi dan spesifikasi yang terdapat pada peraturan Standar Nasional Indonesia (SNI) serta beberapa jurnal yang berkaitan dengan penelitian ini.

2.2.1. Gempa Bumi

Gempa bumi adalah salah satu fenomena alam yang terjadi di wilayah Indonesia, dimana gempa bumi ringan maupun dahsyat ini menelan banyak korban, meruntuhkan bangunan dan fasilitas umum. Gempa bumi terjadi karena pelepasan energi regangan elastis batuan pada litosfir, semakin besar energi tersebut yang dilepas maka gempa yang terjadi semakin kuat juga. Gempa bumi juga bisa disebabkan dari pergerakan kerak bumi atau lempeng bumi.



Gambar 2.2 Peta percepatan respon spektrum 1 detik dengan redaman 5% di batuan dasar (SB) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun (Pusat Studi Gempa Nasional, 2017)

2.2.4. Beban Gempa Berdasarkan SNI 1726:2012

a. Faktor Keutamaan dan Kategori Risiko Struktur Bangunan

Terdapat 4 kategori risiko bangunan menurut jenis pemanfaatan bangunan atau fungsi bangunan. Kategori tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.1 dan Tabel 2.2 sebagai berikut.

Tabel 2.1 Kategori risiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa (BSN, 2012)

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
Gedung dan non gedung yang memiliki risiko terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain :	
<ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya 	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I, III, IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:	
<ul style="list-style-type: none"> - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran 	II

-
- Gedung apartemen/ rumah susun
 - Pusat perbelanjaan/ mall
 - Bangunan industri
 - Fasilitas manufaktur
 - Pabrik
-

Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:

- Bioskop
- Gedung pertemuan
- Stadion
- Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat
- Fasilitas penitipan anak
- Penjara
- Bangunan untuk orang jompo

Gedung dan non gedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:

- Pusat pembangkit listrik biasa
- Fasilitas penanganan air
- Fasilitas penanganan limbah
- Pusat telekomunikasi

Gedung dan non gedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpangan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.

Gedung dan non gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:

- Bangunan-bangunan monumental
 - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan
 - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat
 - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat
 - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya
 - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat
 - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya
-

III

IV

-
- yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat
- Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat

Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan yang masuk ke dalam kategori risiko IV.

Kategori risiko bangunan pada Tabel 2.1 memiliki faktor keutamaan gempa yang digunakan sebagai pengali dalam perhitungan beban gempa. Tabel 2.2 menunjukkan hubungan kategori risiko gempa dengan faktor keutamaan gempa.

Tabel 2.2 Faktor keutamaan gempa (BSN, 2012)

Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

b. Klasifikasi Situs

Kelas situs atau jenis tanah berpengaruh terhadap beban gempa yang diterima oleh struktur bangunan. Jenis tanah mempunyai peranan penting, apabila kondisi tanah pada bangunan buruk maka semakin besar beban gempa yang akan diterima oleh bangunan tersebut. Berikut Tabel 2.3 merupakan hubungan nilai parameter kemampuan tanah dengan klasifikasi situs.

Tabel 2.3 Klasifikasi situs (BSN, 2012)

Kelas Situs	v_s (m/detik)	N atau N_{ch}	s_u (kPa)
SA (batuan keras)	Kurang dari 1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (batuan lunak)	350 sampai 750	> 50	> 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 – 50	50 - 100

Tabel 2.4 Klasifikasi situs (BSN, 2012) (lanjutan)

Kelas Situs	v_s (m/detik)	N atau N_{ch}	s_u (kPa)
SE (tanah lunak)	< 175	< 15	< 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut :		
	1. Indeks plastisitas, $PI > 20$,		
	2. Kadar air, $w > 40\%$		
	3. Kuat geser niralir $s_u < 25$ kPa		
	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut:		
	- Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs)	- Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m)		
	- Lempung berplastisitas sangat tinggi dengan Indeks Plastisitas $PI > 75$)		
	Lapisan lempung lunak dengan ketebalan $H > 35$ m.		

c. Penentuan Respon Spektrum

Nilai respon spektrum dapat dilihat pada peta gempa, SNI 1726:2012, atau pada situs Kementerian Pekerjaan Umum Bagian Pusat Pengembangan dan Penelitian Permukiman. Parameter respon spektrum percepatan gempa didapatkan dari perkalian antara faktor amplikasi seismik masing-masing periode dari hubungan parameter respon spektrum percepatan gempa dengan kelas situs pada Tabel 2.5 dan Tabel 2.6 yang didapatkan dari peta gempa 2017.

$$S_{MS} = F_a S_s \quad (2.1)$$

$$S_{MI} = F_v S_I \quad (2.2)$$

Tabel 2.5 Koefisien situs, F_a (BSN, 2012)

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa terpetakan pada perioda pendek, $T = 0,2$ detik, S_s				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1$	$S_s > 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF			SS		

Tabel 2.6 Koefisien situs, F_v (BSN, 2012)

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa terpetakan pada perioda 1 detik, $T = 1$ detik, S_I				
	$S_I \leq 0,1$	$S_I = 0,2$	$S_I = 0,3$	$S_I = 0,4$	$S_I > 0,25$
SA	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
SB	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
SC	1,70	1,60	1,50	1,40	1,30
SD	2,40	2,00	1,80	1,60	1,50
SE	3,50	3,20	2,80	2,40	2,40
SF			SS		

Catatan :

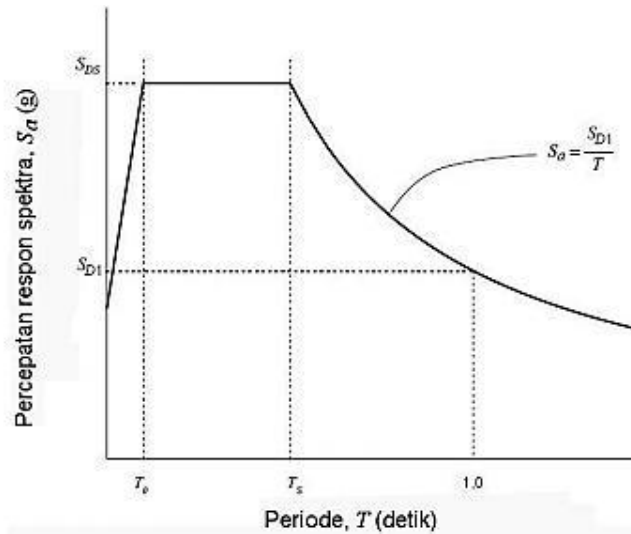
- Untuk nilai S_s dan S_I yang tidak terdapat pada Tabel 2.5 dan Tabel 2.6 dapat dicari menggunakan cara interpolasi linier.
- Kelas situs SF merupakan situs yang membutuhkan investigasi spesifik dan analisis respon situs-spesifik.

Nilai S_{MS} , S_{MI} yang sudah diperoleh dari persamaan di atas kemudian digunakan untuk menentukan parameter percepatan spektral desain untuk perioda pendek 0,2 detik (S_{DS}) dan perioda 1 detik (S_{DI}) seperti persamaan berikut.

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (2.3)$$

$$S_{DI} = \frac{2}{3} S_{MI} \quad (2.4)$$

Nilai spektrum respons desain tersebut dapat digambarkan dalam sebuah grafik respons spektral yaitu grafik dari hubungan perioda getaran dengan percepatan respons spektral seperti Gambar 2.3 berikut.



Gambar 2.3 Spektrum respons desain (BSN, 2012)

d. Periode Fundamental Pendekatan

Periode fundamental pendekatan (T_a), dalam detik, harus ditentukan dari persamaan berikut.

$$T_a = C_t h_n^x \quad (2.5)$$

Keterangan:

h_n adalah ketinggian struktur, dalam (m), di atas dasar sampai tingkat tinggi struktur, dan koefisien C_t dan x dari Tabel 2.7.

Tabel 2.7 Nilai parameter periode pendekatan C_t dan x (BSN, 2012)

Tipe struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100 persen gaya gempa yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa:		
Rangka baja pemikul momen	0,0724 ^a	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466 ^a	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731 ^a	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731 ^a	0,75
Rangka sistem struktur lainnya	0,0488 ^a	0,75

e. Pemilihan Sistem Struktur

Sistem struktur yang digunakan harus sesuai dengan batasan sistem struktur dan batasan ketinggian struktur yang ditunjukkan dalam Tabel 2.8 sebagai berikut.

Tabel 2.8 Faktor R , C_d , dan Ω_0 untuk sistem penahan gaya gempa
(lanjutan) (BSN, 2012)

Sistem penahan gaya gempa	R_a	Ω_0	C_d	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m)				
				B	C	D	E	F
10. Dinding geser batu bata polos didetail	2	2½	1¾	TB	TI	TI	TI	TI
11. Dinding geser batu bata polos biasa	1½	2½	1¼	TB	TI	TI	TI	TI
12. Dinding geser batu bata prategang	1½	2½	1¾	TB	TI	TI	TI	TI
13. Dinding geser batu bata ringan (AAC) bertulang biasa	2	2½	2	TB	10	TI	TI	TI
14. Dinding geser batu bata ringan (AAC) polos biasa	1½	2½	1½	TB	TI	TI	TI	TI
15. Dinding rangka ringan (kayu) dilapisi dengan panel struktur kayu yang ditujukan untuk tahanan geser, atau dengan lembaran baja	6½	3	4	TB	TB	20	20	20
16. Dinding rangka ringan (baja canai dingin) yang dilapisi dengan panel atruktur kayu yang ditujukan untuk tahanan geser, atau dengan lembaran baja	6½	3	2	TB	TB	20	20	20
17. Dinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material lainnya	2	2½	3½	TB	TB	10	TI	TI
18. Sistem dinding rangka ringan (baja canai dingin) menggunakan bresing strip datar	4	2		TB	TB	20	20	20

f. Penentuan Simpangan Antar Lantai

Simpangan yang dihasilkan dari *software LISA-FEA* tidak boleh melebihi simpangan antar lantai (Δa) menurut kategori risiko struktur yang ditunjukkan pada Tabel 2.9.

Tabel 2.9 Simpangan antar lantai ijin (BSN, 2012)

Tipe struktur	Kategori Risiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat/kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar lantai tingkat.	0,025 h_{sx}	0,020 h_{sx}	0,015 h_{sx}
Struktur dinding geser kantilever dengan batu bata	0,010 h_{sx}	0,010 h_{sx}	0,010 h_{sx}
Struktur dinding geser dengan batu bata lainnya	0,007 h_{sx}	0,007 h_{sx}	0,007 h_{sx}
Semua struktur lainnya	0,020 h_{sx}	0,015 h_{sx}	0,010 h_{sx}

Keterangan : h_{sx} = tinggi tingkat di bawah tingkat x