



MODEL-MODEL LAPISAN IONOSFER

Oleh Koeswadi *)

RINGKASAN

Hasil pengamatan ionosonde variabel berupa ionogram yang menunjukkan hubungan antara ketinggian semu dengan frekuensi, dimana frekuensi dapat menunjukkan kerapatan elektron di ionosfer. Untuk penghitungan besaran fisis lainnya, diperlukan model-model matematik dari pada lengkungan-lengkungan lapisan E dan F ionosfer. Dalam makalah ini akan dibahas berbagai model lapisan ionosfer.

1. PENDAHULUAN

Yang dimaksudkan dengan model dalam makalah ini ialah hubungan antara salah satu besaran fisis ionosfer dengan ketinggian, di mana hubungan tersebut mewakili suatu daerah atau universal dan berlaku untuk jangka waktu yang cukup lama. Dengan kata lain dalam model tersebut, tidak tergantung dari waktu dan faktor gangguan dieliminir.

Seperti diketahui bahwa ionosfer terbagi menjadi beberapa daerah, ialah daerah D (60 km - 90 km), daerah E (90 km - 160 km) dan di atas 160 Km disebut daerah F. Daerah-daerah tersebut membentuk lapisan-lapisan D, E dan F dengan ketebalan d , e dan f . Untuk melihat model tersebut dapat ditinjau dari sudut empiris, teoritis ataupun semi empiris. Dalam paper ini akan dibahas model-model dari sudut teoritis dan diharapkan akan merupakan pegangan dalam penelitian model secara empiris.

*) Ka. Kelompok Penelitian Ionosfer.

2. DASAR BENTUK LAPISAN

Dasar dari pada bentuk lapisan adalah persamaan transport

$$\nabla \cdot (n \vec{v}) = \frac{dn}{dt}$$

di mana : n adalah jumlah pembentukan partikel bermuatan.
 \vec{v} adalah kecepatan partikel.

Persamaan di atas ke arah vertikal dapat ditulis sebagai :

$$n \frac{dv}{dz} + v \frac{dn}{dz} = \left(\frac{dn}{dz} \frac{dz}{dt} \right)_{z=0}$$

Untuk keperluan model, maka kecepatan tidak tergantung waktu, dan tanpa gangguan maka :

$$v = v_0 e^{z/d}$$

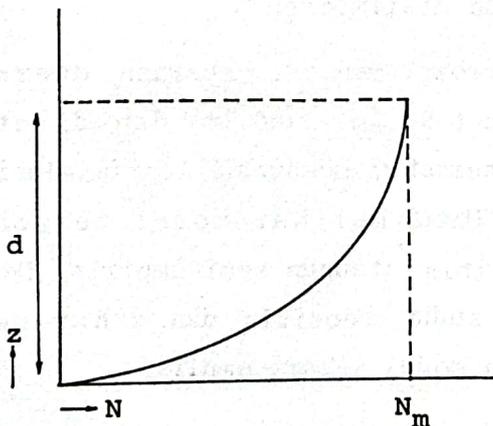
$$\left(\frac{n}{d} + \frac{dn}{dz} \right) e^{z/d} = \frac{n}{d}$$

$$\frac{dn}{dz} = \frac{n}{d} (1 - e^{-z/d}) \quad (2-1)$$

Persamaan ini merupakan dasar persamaan untuk pembahasan model-model lapisan.

3. LAPISAN D

3.1 Parabolic Layer



Ekspansi dari $e^{-z/d}$ adalah :

$$e^{-z/d} \approx 1 - \frac{z}{d} + \frac{z^2}{2d^2}$$

sehingga dapat ditulis :

$$\frac{dn}{dz} = \frac{n}{2d} \left(2 \frac{z}{d} - \frac{z^2}{d^2} \right)$$

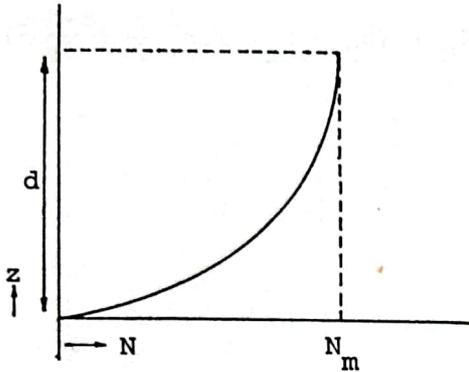
$$\frac{dn}{dz} = N$$

$$\frac{n}{2d} = N_m$$

Model parabolic layer adalah :

$$N = N_m \left(2 \frac{h}{d} - \frac{h^2}{d^2} \right).$$

3.2 Cosinus Layer



$e^{-z/d}$ diganti dengan $\cos \pi \frac{z}{d}$
atau sama dengan $-\cos \pi \left(\frac{d-z}{d} \right)$

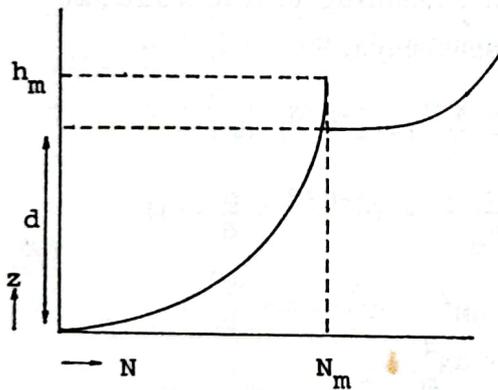
sehingga dapat dituliskan :

$$\frac{dn}{dz} = \frac{n}{d} \left(1 + \cos \pi \frac{d-z}{d} \right).$$

Model cosinus layer adalah :

$$N = N_m \cos^2 \frac{\pi}{2} \left(\frac{d-z}{d} \right)$$

3.3 Cosinusoidal Layer



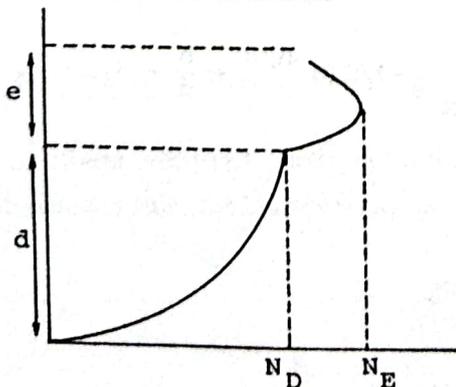
Sama seperti cosinus layer, hanya beranggapan bahwa sebelum ketebalan lapisan mencapai ketinggian maksimum h_m , telah disusul oleh lapisan lain, pada ketinggian $3/4 h_m$.

Model cosinusoidal layer adalah :

$$N = N_m \left[1 - \cos \frac{3}{4} \pi \frac{z}{d} \right]$$

4.1 LAPISAN E

4.1 Sine Squared Layer



Sama seperti cosinus layer

$$N = N_D + (N_E - N_D) \cos^2 \frac{\pi}{2} \left(\frac{d+e-z}{e} \right).$$

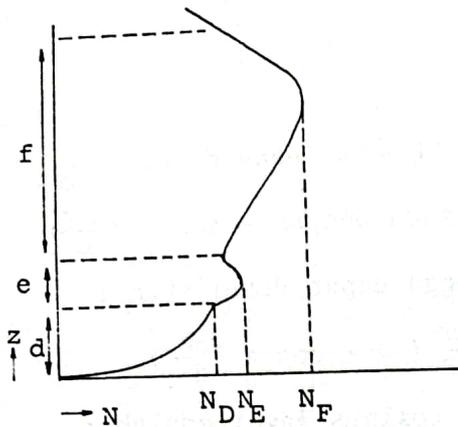
Model sine squared layer adalah :

$$N = N_D + (N_E - N_D) \sin^2 \frac{\pi}{2} \left(\frac{z-d}{e} \right)$$

di mana : d adalah ketebalan lapisan D
 e adalah ketebalan lapisan E

5. LAPISAN F

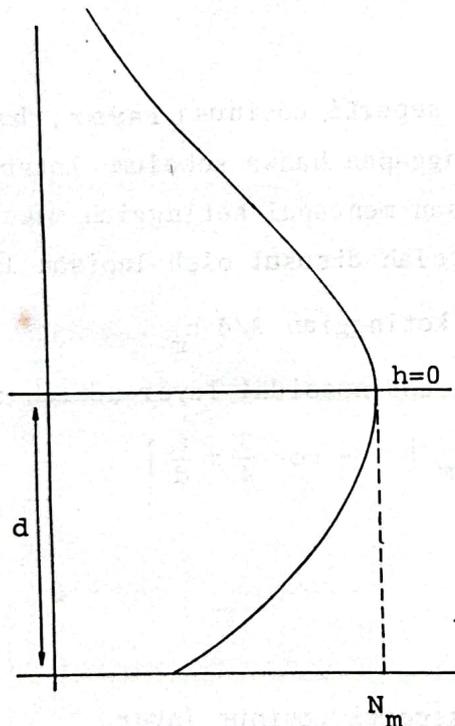
5.1 Sine Squared Layer



Sama seperti squared layer lapisan E

$$N = N_D + (N_F - N_D) \sin^2 \frac{\pi}{2} \left(\frac{z-d-e}{f} \right)$$

5.2 Chapman Layer



Chapman beranggapan bahwa di lapisan F, partikel-partikel yang terbentuk akan sebanding dengan kuadrat kerapatannya.

$$\frac{dn}{n} = \frac{1}{d} (1 - e^{-z/d}) dz.$$

$$\ln \frac{n}{n_m} = - \left(e^{-h/d} + \frac{h}{d} - 1 \right)$$

$$n = \alpha N^2$$

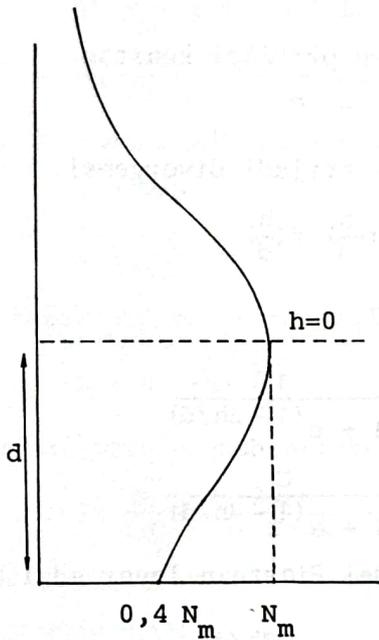
$$n_m = \alpha N_m^2$$

$$\ln \frac{N}{N_m} = - \frac{1}{2} \left(e^{-h/d} + \frac{h}{d} - 1 \right)$$

Model Chapman Layer adalah :

$$N = N_m e^{-1/2 \left(e^{-h/d} + \frac{h}{d} - 1 \right)}.$$

5.3 Sech. Squared Layer



Pada sech. squared layer beranggapan bahwa ionosfer merupakan kumpulan elektron bebas. Karena elektron secara mekanika kuantum mempunyai Spin = 1/2 maka kumpulan tersebut dinamakan kelompok Fermi di mana fungsi distribusinya adalah Fermi-Dirac; dengan persyaratan bahwa jumlah internal energinya konstan

$$\sum N_i h_i = C.$$

Karenanya dapat dituliskan :

$$\frac{dn}{dz} = \frac{n}{d} g \left(\frac{h}{d} \right) f \left(\frac{h}{d} \right)$$

di mana :

$g \left(\frac{h}{d} \right)$ adalah fungsi transport.

$f \left(\frac{h}{d} \right)$ adalah fungsi distribusi Fermi Dirac.

$$n = \frac{n_m}{d} (1 - e^{-h/d}) \left(\frac{1}{1 + e^{-h/d}} \right)$$

$$n = \frac{n_m}{d} \operatorname{tgh} \left(\frac{h}{2d} \right).$$

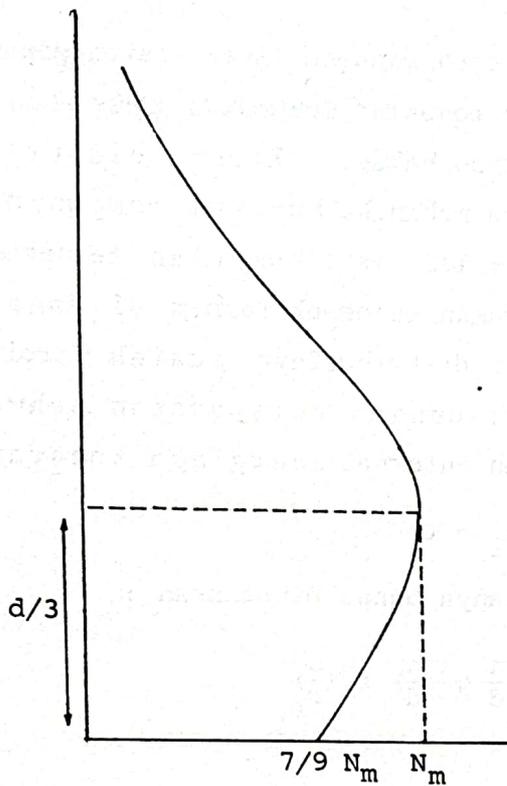
$$\frac{dn}{dz} = \frac{n_m}{d} \operatorname{sech}^2 \left(\frac{h}{2d} \right)$$

Jadi model layer adalah :

$$N = N_m \operatorname{sech}^2 \left(\frac{h}{2d} \right).$$

5.4 Eipstein Layer

Sama seperti sech. squared layer, hanya karena berlaku di daerah F di mana elektron mempunyai 3 derajat kebebasan dan dengan syarat :



1. Jumlah internal energi konstan

$$\sum N_i h_i = C.$$

2. Jumlah partikel konstan

$$\sum N_i = C.$$

3. Tidak terjadi divergensi.

$$n = n_m g\left(\frac{h}{d}\right) f\left(\frac{h}{d}\right)$$

$$g\left(\frac{h}{d}\right) = C.$$

$$f\left(\frac{h}{d}\right) = \frac{1}{1 + e^{(1 - 3h/d)}}$$

$$n = n_m \frac{C}{1 + e^{(1 - 3h/d)}}$$

Jadi model Einstein layer adalah :

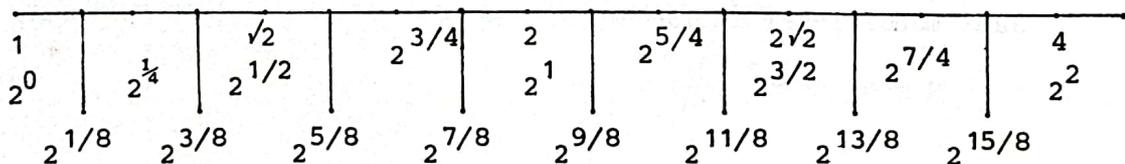
$$N = N_m \frac{C e^{-3h/d}}{\left[1 + e^{(1 - 3h/d)}\right]^2}$$

6. MODEL YANG PERNAH DITELITI

Sesuai dengan ionogram, maka hubungan antara frekuensi dengan ketinggian semu dapat dinyatakan sebagai :

$$f = a'h'^2 + b'h' + c'.$$

Namun skala frekuensi seperti tergambar :



Jadi frekuensi dapat ditulis :

$$\ln f_{nk} = \frac{k}{2^n} \ln 2$$

$$n = 0, 1, 2, \dots$$

$$k = 0, 1, 2, \dots$$

$$k = \frac{2^n}{\ln 2} \ln f.$$

Persamaan parabola dapat ditulis :

$$\ln f = a h'^2 + b h' + C$$

$$\ln \frac{f}{f_0} = a h'^2 + b h'$$

Karena frekuensi ada hubungannya dengan kerapatan partikel

$$f = 9\sqrt{N}$$

$$2 \ln \frac{f}{f_0} = 2 a h'^2 + 2 b h' = \ln \frac{N}{N_0} .$$

Untuk keperluan model ketinggian sebenarnya :

$$h = h' \sqrt{1 - \frac{N_0}{N}} .$$

Maka model yang pernah dilaksanakan adalah :

$$\ln \frac{N}{N_0} = \frac{2 a h}{1 - N_0/N} + \frac{2 b h}{\sqrt{1 - N_0/N}}$$

7. KESIMPULAN

Model-model tersebut adalah model teoritis, dan untuk Indonesia perlu dilaksanakan penelitian lebih jauh.

DAFTAR PUSTAKA

1. : "Ionospheric Measurements", NASA TT F-759.
2. : "Journal of The Radio Research Laboratories", No. 125/126 Vol. 28 Maret/July 1981.
3. : "Molecular Physics of Equilibrium Gases", NASA SP-3096.

- - - oo0oo - - -

DISKUSI

1. B. GULTOM

Tanya : Dibicarakan fisika elementer seperti distribusi Dirac, Bose Einstein dan lain-lain.
Bagaimana mengantar teori ini sampai menjadi berguna bagi model lapisan ionosfer ?

Jawab : Seperti diketahui bahwa ionosfer terdiri dari kumpulan elektron-elektron terutama daerah F. Elektron mempunyai spin $\frac{1}{2}$, dan sesuai dengan larangan Pauli, bahwa tiap elektron akan menempati energy level tertentu, dan menurut quantum statistics ia akan mengikuti distribusi Fermi-Dirac.

Tanya : Disebutkan "Weight Function". Bagaimana hal ini bermanfaat dalam analisa model ionosfer ?

Jawab : Sehubungan dengan hal tersebut di atas maka fungsi distribusi kerapatan partikel disamping fungsi fisis $g(h/d)$ yang diambil dari persamaan transport, juga harus diperhitungkan mengenai keboleh-jadian elektron menempati ketinggian tersebut, yang disebut "Weight Function".

Tanya : Dibicarakan jenis model, antara lain cosinus layer, sinusoidal layer dan lain-lain.
Apakah hal ini untuk setiap lapisan E, F dan D ?

Jawab : Penelitian model-model lapisan untuk lapisan E, F dan D oleh para ahli, memang itu berlaku untuk lapisan-lapisan tersebut. Tetapi apakah ini berlaku juga untuk Indonesia, perlu dilaksanakan penelitian lebih jauh.

2. RUSTAM EFFENDI

Tanya : Dari model-model yang ada, model mana yang paling sesuai untuk :
- Indonesia.
- Dunia umumnya.

Jawab : Apakah model-model tersebut berlaku universal masih perlu dilaksanakan penelitian.

3. JOHN MASPUPU

Tanya : - Apakah kegunaan dari Weight Function dalam model-model model lapisan ionosfer yang dibicarakan di sini ?
- Apakah Weight Function itu merupakan ciri suatu model lapisan ionosfer ?
- Bagaimana cara menentukan Weight Function dari suatu model lapisan ionosfer ?

Jawab : Lihat jawab nomor 1 (satu).

4. ELIS HERTINI

Tanya : Mohon penjelasan secara fisis mengenai terjadinya :

$$w = \prod \frac{g_i!}{(g_i - N_i)! N_i!}$$

Jawab : Elektron akan menempati Energy Level tertentu berdasarkan larangan Pauli. Maka kalau jumlah energy level adalah g_i dan jumlah partikel N_i maka jumlah kombinasi yang mungkin adalah :

$$w = \prod \frac{g_i!}{(g_i - N_i)! N_i!}$$

5. J. SOEGIJO

Tanya : Kalau kita bicara masalah kerapatan elektron, tidak dapat ditinggalkan masalah temperaturnya. Apakah telah ada model temperatur elektronnya ?

Jawab : Model suhu elektron sejauh ini belum pernah saya temukan.

Tanya : Model ini sifatnya mondial apa tidak. Apa alasannya ?

Jawab : Kelihatannya model-model tersebut mondial, namun perlu diadakan penelitian untuk Indonesia.

6. SULAEMAN

Tanya : Dalam kalimat tertulis :

... akan dibicarakan penentuan model

Tetapi yang dibicarakan tidak menentukan model melainkan menentukan persamaan matematis. Kalau tidak salah, model itu didapat dari penelitian.

Mohon dijelaskan apa model itu ?

Jawab : Model-model tersebut adalah hasil penelitian para ahli, dan model-model tersebut adalah teoritis..

Tanya : Mohon dijelaskan secara fisis :

$$w = \prod \frac{g_i!}{(g_i - N_i)! N_i!}$$

Jawab : Lihat jawab nomor 4 (empat).

7. CHUNAENI LATIEF

Tanya : Apakah setiap model berlaku umum atau hanya pada lapisan tertentu dan tempat tertentu saja ?

Jawab : Model-model tersebut hanya berlaku untuk setiap lapisan. Artinya satu lapisan tertentu satu model.

Tanya : Apakah ada model empiris, Bagaimana dengan harga 0 - ~ ?

Jawab : Model empiris belum saya temukan dan ketinggian umumnya antara 80 Km sampai 1000 Km.

- - - oo0oo - - -