

ANALISA PERPINDAHAN PANAS PADA PITOT TUBE 0856MG

Roy Indra Lesmana

Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin
Universitas Jenderal Achmad Yani, Cimahi – Bandung
Email: royindralesmana@gmail.com

Abstrak

Bongkahan es akan terbentuk pada ujung *pitot tube* pesawat terbang. Diperlukan panas tertentu untuk dapat mencegah terbentuknya bongkahan es agar *pitot tube* tetap berfungsi. Panas yang diperlukan dapat berubah sesuai yang diperlukan agar tidak merusak struktur pesawat. Diperlukan perhitungan secara konveksi dan konduksi untuk mengetahui rata-rata perpindahan panas dan temperatur pemanas *pitot tube*.

Kata Kunci: *Pitot Tube*, Konveksi, Konduksi.

Notasi

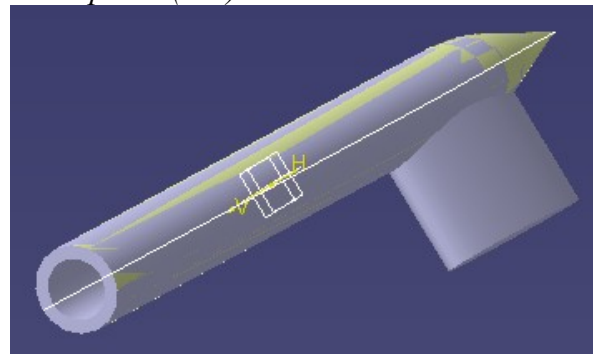
T = Temperatur / Suhu [F]
 ρ = Masa jenis [lbm/ft³]
 ν = Kinematik viskositas [ft²/s]
 k = Konduktivitas thermal [Btu/hr.ft.F]
 Pr = Prandtl number
 x = jarak [ft]
 \bar{h} = koefisien perpindahan panas [Btu/hr.ft².F]
 q = rata-rata perpindahan panas [Btu/hr]
 Re = Reynold number
 U = Kecepatan udara [ft/s]
 L = Panjang [ft]
 w = Lebar [ft]
 A = Luas [ft²]

Subscript

c = Konveksi
 k = Konduksi
 ∞ = Aliran bebas
 s = Dinding
 as = Pemanas
 L = Sepanjang *pitot tube*
 C = Lokal

kecepatan 260 knots atau setara dengan 439 ft/s. *Pitot tube* berfungsi sebagai alat navigasi pesawat untuk dapat mengetahui ketinggian, kecepatan dan tekanan.

Prinsip kerja *pitot tube* yaitu dengan membandingkan tekanan antara tekanan total yang didapat dari *pitot tube* dan tekana statik yang didapat dari *statik tube*. Dengan perbedaan tekanan yang didapat (tekanan dinamik), sehingga bisa diketahui kecepatan pesawat dan berbagai parameter lain sesuai dengan tabel *International Standard Atmosphere (ISA)*.



Gambar 1. Pitot Tube

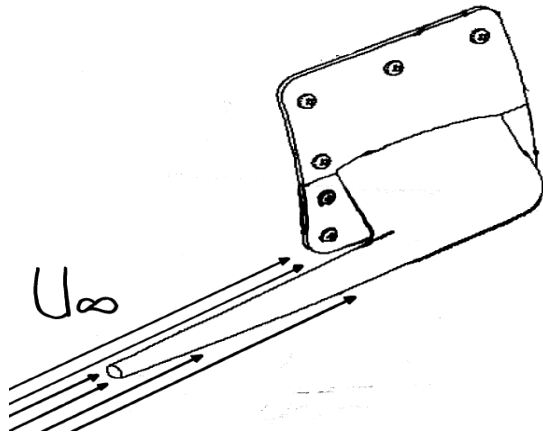
Terdapat beberapa fenomena ketika pesawat terbang pada ketinggian tertentu dan kecepatan tertentu, yaitu dengan suhu yang sangat dingin sangat mudah terbentuknya es pada ujung-ujung bagian depan (*leading edge*) pesawat, salah satunya yaitu *pitot tube*.

Untuk mencegah terbentuknya es pada mulut *pitot tube* yang dapat mengganggu fungsi dari *pitot tube* tersebut, maka

Pendahulun

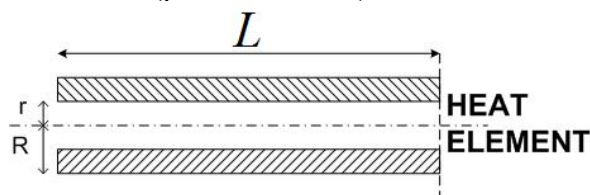
Pitot tube 0856MG dipasang pada pesawat Beechcraft 1900D. Pesawat ini terbang biasanya pada ketinggian sampai 25000 ft diatas permukaan laut dan pada

dipasangkan sebuah sistem yang dikenal dengan istilah *Anti Icing System*. Prinsip kerja dari sistem ini yaitu dengan cara memberikan pemanas pada *pitot tube*. Pemanas akan memberikan perlawanan suhu terhadap suhu yang berasal dari lingkungan (*ambient*).



Gambar 2. Aliran udara pada Pitot Tube

Pada kali ini akan dilakukan perhitungan mengenai perpindahan panas yang terjadi pada beberapa ketinggian pesawat pada saat terbang, yaitu pada ketinggian 10000 ft sampai 25000 ft dengan skala kenaikan tiap 1000 ft. Material yang digunakan *pitot tube* 0856MG tidak diketahui, maka pada analisa ini material yang digunakan diasumsikan menggunakan tembaga murni (*Copper Pure*) dengan nilai konduktivitas panasnya 224 Btu/hr ft F (pada suhu 32 F).



Gambar 3. Penampang Pitot Tube

Pada gambar 3 diatas diperlihatkan penampang *pitot tube* secara sederhana. Panjang *pitot tube* (L) dari pemanas ke ujung *pitot tube* diketahui sebesar 0,65 ft. Jari-jari dalam (r) sebesar 0,0295 ft dan jari-jari luar (R) sebesar 0,0328 ft. Pada analisa ini juga dapat dilihat besar suhu yang diperlukan pemanas untuk mencegah terbentuknya es pada ujung *pitot tube*.

Teori Dasar

Sistem perpindahan panas dibagi menjadi 3 jenis, yaitu konduksi, konveksi dan radiasi. Secara umum, ketiga jenis tersebut dibedakan berdasarkan media dalam upaya memindahkan energi panas. Konduksi menggunakan media padat, konveksi menggunakan media fluida, sedangkan radiasi menggunakan media gelombang elektromagnetik. Pada kasus ini, metode yang digunakan adalah secara konduksi dan konveksi.

Proses perpindahan panas secara konduksi bila dilihat secara atomik merupakan pertukaran energi kinetik antar molekul (atom), dimana partikel yang energinya rendah dapat meningkat dengan menumbuk partikel dengan energi yang lebih tinggi. Untuk perpindahan panas secara konduksi, setiap material mempunyai nilai konduktivitas panas (k) [Btu/hr ft F], yang mempengaruhi besar perpindahan panas yang dilakukan pada suatu material.

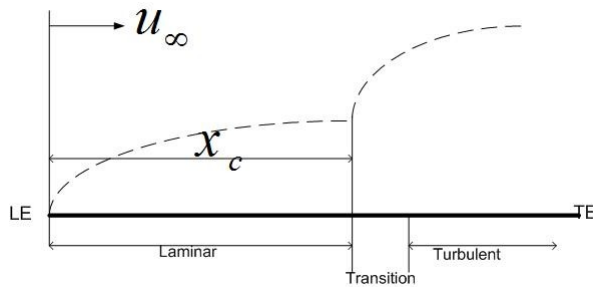
$$q_k = k.A.\frac{\Delta T}{L} \quad (1)$$

Apabila kalor berpindah dengan cara gerakan partikel yang telah dipanaskan dikatakan perpindahan kalor secara konveksi. Bila perpindahannya dikarenakan perbedaan kerapatan disebut konveksi alami (*Free Convection*) dan bila didorong, misal dengan *fan* atau pompa disebut konveksi paksa (*Forced Convection*). Besarnya perpindahan panas secara konveksi tergantung pada :

- * Luas permukaan benda yang bersinggungan dengan fluida (A).
- * Perbedaan suhu antara permukaan benda dengan fluida (ΔT), dan juga,
- * koefisien konveksi (h), yang tergantung pada:
 - viscositas fluida (μ)
 - kecepatan fluida (v)
 - perbedaan temperatur antara permukaan dan fluida (ΔT)
 - kapasitas panas fluida (C_p)
 - rapat massa fluida (ρ)

$$q_c = w.L.\bar{h}.\Delta T \quad (2)$$

Aliran fluida pada plat datar dapat digambarkan seperti pada gambar 4. Terdapat dua jenis aliran yang mengalir pada plat datar yaitu laminar dan turbulen. Kedua jenis aliran ini berpengaruh terhadap besar perpindahan panas yang terjadi.



Gambar 4. Aliran fluida pada plat datar

Untuk mengetahui perpindahan panas pada aliran laminar, harus diketahui panjang aliran laminar terlebih dahulu, dimana panjang aliran laminar tersebut dipengaruhi oleh nilai kinematik viskositas (ν), Reynold number dan kecepatan aliran udara. Nilai Reynold number pada aliran laminar bernilai sekitar 2×10^5 .

$$x_c = \frac{\nu \cdot Re_c}{U_\infty} \quad (3)$$

Maka besar koefisien perpindahan panas secara konveksi untuk sepanjang aliran laminar atau lokal adalah:

$$\bar{h}_c = 0,664 \left[\frac{k}{x_c} \right] pr^{1/3} \cdot Re_c^{1/2} \quad (4)$$

Untuk menghitung perpindahan panas keseluruhan atau sepanjang L, maka harus ditentukan dulu nilai Reynold number sepanjang plat (Re_L) dan koefisien perpindahan panas konveksi keseluruhan (\bar{h}_L).

$$Re_L = \frac{U_\infty L}{\nu} \quad (5)$$

Koefisien perpindahan panas rata-rata sepanjang plat dengan mengabaikan koreksi

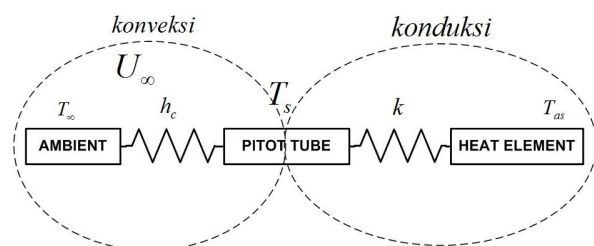
viskositas menurut “Withaker” dan untuk mempertahankan ketergantungan sifat-sifat fluida terhadap suhu, maka nilai koefisien perpindahan panas dapat diperoleh:

$$\bar{h}_L = 0,036 \left[\frac{k}{x_L} \right] pr^{0,43} \cdot (Re_L^{0,8} - 9200) \quad (6)$$

Identifikasi Masalah dan perhitungan

Pada analisa ini, pesawat dianggap diam dan udara mengalir dengan kecepatan pesawat. Pada *pitot tube*, udara didalam lubang *pitot tube* tidak mengalir, maka perhitungan perpindahan panas dalam lubang diabaikan, dan udara yang mengalir dipermukaan luar *pitot tube* diasumsikan seperti udara yang mengalir pada plat datar. Kecepatan aliran udara yang terjadi diperkirakan sebesar 260 knots atau sebesar 0,4 Mach, maka dari itu, perhitungan perpindahan panas yang terjadi tidak menggunakan perhitungan pada aliran kecepatan tinggi, dikarenakan perhitungan pada aliran kecepatan tinggi untuk aliran dengan kecepatan lebih dari 0,5 Mach.

Perpindahan yang terjadi pada *pitot tube*, dapat digambarkan seperti pada gambar 5. Suhu ambient berpengaruh terhadap ujung *pitot tube* dan suhu dari pemanas juga berpengaruh terhadap *pitot tube*.



Gambar 5. Ilustrasi perpindahan panas

Untuk menjaga suhu pada ujung *pitot tube* dari pengaruh suhu ambient dan suhu pemanas, besar rata-rata perpindahan panas secara konveksi sama dengan besar perpindahan panas yang terjadi secara konduksi atau bisa di gambarkan secara matematik menjadi:

$$q_c = q_k \quad (7)$$

Untuk menghitung rata-rata perpindahan panas secara konveksi, harus ditentukan dulu panjang aliran laminar atau letak terjadinya transisi aliran. Dengan menggunakan persamaan (3), bisa diketahui panjang aliran laminar dengan nilai kinematik viskositas didapat dari tabel sifat fisik udara berdasarkan temperatur. Agar lebih akurat, parameter temperatur yang digunakan adalah temperatur film. Contoh perhitungan akan dilakukan pada ketinggian 10000 ft.

Untuk mengetahui temperatur pada ketinggian tertentu bisa diketahui dari tabel *International Standard Atmosphere (ISA)*, berdasarkan tabel ISA, pada ketinggian 10000 ft, suhu udara sekitar 23 F, maka untuk menjaga suhu ujung pitot minimal 32 F, besar suhu filmnya yaitu sebesar:

$$T_{film} = \frac{T_{\infty} + T_s}{2}$$

$$T_{film} = \frac{23 + 32}{2} = 28F$$

Dari tabel sifat fisik udara, pada suhu 28 F, beberapa nilai koefisien yang didapat yaitu:

- $\rho = 0,082 \text{ lbm/ft}^3$
- $\nu = 0,143 \times 10^{-3} \text{ ft}^2/\text{s}$
- $k = 0,0139 \text{ Btu/hr ft F}$
- $Pr = 0,72$

Maka panjang aliran laminar adalah:

$$x_c = \frac{\nu \cdot Re_c}{U_{\infty}}$$

$$x_c = \frac{0,143 \times 10^{-3} \times 2 \times 10^5}{439}$$

$$x_c = 0,065 \text{ ft}$$

Maka jarak tempat terjadinya transisi dari ujung plat sejauh 0,065 ft. Nilai ini akan berubah tergantung dari nilai kinematik viskositasnya.

Menentukan besar koefisien perpindahan panas secara konveksi disepanjang aliran laminar. Dengan persamaan (4), maka didapat nilai koefisien perpindahan panasnya sebesar:

$$\bar{h}_c = 0,664 \left[\frac{k}{x_c} \right] pr^{1/3} \cdot Re_c^{1/2}$$

$$\bar{h}_c = 0,664 \left[\frac{0,0139}{0,065} \right] 0,72^{1/3} (2 \times 10^5)^{1/2}$$

$$\bar{h}_c = 56,79 \text{ Btu/hr.ft}^2.F$$

Koefisien perpindahan panas sepanjang aliran laminar sebesar 56,79 Btu/hr.ft².F. nilai ini akan berubah dipengaruhi oleh besarnya konduktivitas thermal dan prandtl number.

Panjang *pitot tube* adalah 0,65 ft. Sedangkan bagian yang terkena aliran laminar adalah sebesar 0,065 ft. Maka sebagian besar atau sekitar 90% bagian *pitot tube* terkena aliran turbulente. Maka nilai Reynold number disepanjang *pitot tube* (0,65 ft) adalah dengan menggunakan persamaan (5).

$$Re_L = \frac{U_{\infty} L}{\nu}$$

$$Re_L = \frac{439 \times 0,65}{0,143}$$

$$Re_L = 19,954 \times 10^5$$

Dari persamaan (6). Maka koefisien rata-rata perpindahan panas disepanjang *pitot tube* adalah;

$$\bar{h}_L = 0,036 \left[\frac{k}{x_L} \right] pr^{0,43} (Re_L^{0,8} - 9200)$$

$$\bar{h}_L = 0,036 \left[\frac{0,0139}{0,65} \right] 0,72^{0,43} [(19,954 \times 10^5) - 9200]$$

$$\bar{h}_L = 67,15 \text{ Btu/hr.ft}^2.F$$

Untuk menentukan besar rata-rata perpindahan panas secara konveksi, dari persamaan (2), maka harus ditentukan dulu lebar dari benda yang dialiri. Karena *pitot tube* ini berbentuk lingkaran, maka lebar benda yang dialiri sama dengan keliling luar dari *pitot tube* tersebut.

$$w = 2\pi R$$

$$w = 2 \times \pi \times 0,0328$$

$$w = 0,206 \text{ ft}$$

Maka :

$$q_c = w.L.\bar{h}.\Delta T$$

$$q_c = w.L.\bar{h}.(T_\infty - T_s)$$

$$q_c = 0,206 \times 0,65 \times 67,15(32 - 23)$$

$$q_c = 77,86 \text{ Btu/hr}$$

Dari perhitungan diatas, besar rata-rata perpindahan panas konveksi yang terjadi antara aliran udara bebas dengan *pitot tube* sebesar 77,86 Btu/hr. Berdasarkan persamaan (7), besar rata-rata perpindahan secara konveksi sama dengan besar rata-rata perpindahan secara konduksi. Maka untuk menentukan temperatur yang dibutuhkan pemanas *pitot tube* untuk menjaga suhu *pitot tube* minimal 32 F adalah:

Dimana :

$$A = \pi R^2 - \pi r^2 = \pi (R^2 - r^2)$$

$$A = \pi (0,0328^2 - 0,0295^2)$$

$$A = 0,645 \times 10^{-3} \text{ ft}^2$$

Pada perhitungan rata-rata perpindahan panas secara konduksi pada *pitot tube*, nilai konduktivitas thermal yang digunakan adalah konduktivitas thermal dari material yang digunakan, bukan konduktivitas thermal udara. Maka:

$$q_k = q_c = k.A.\frac{\Delta T}{L}$$

$$q_k = q_c = k.A.\frac{(T_{as} - T_s)}{L}$$

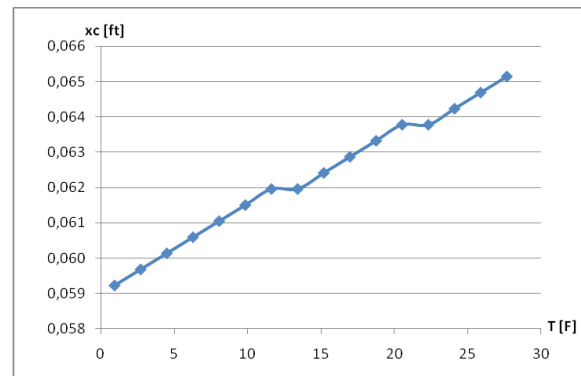
$$T_{as} = \frac{q_c.L}{k.A} + T_s$$

$$T_{as} = \frac{77,86 \times 0,65}{224 \times 0,0645 \times 10^{-3}} + 32$$

$$T_{as} = 382,30 \text{ F}$$

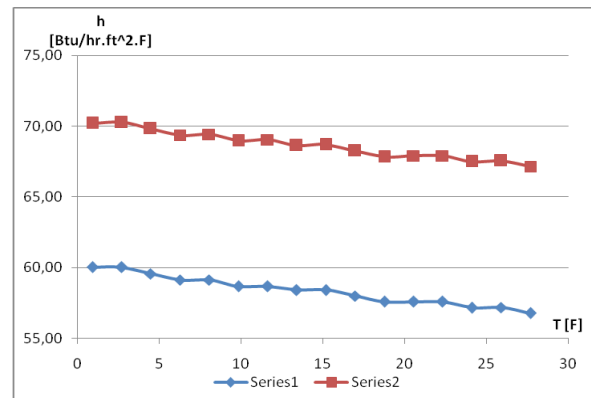
Perhitungan pada beberapa ketinggian dan beberapa sifat fisik udara bisa dilihat pada tabel 1. Beberapa sifat fisik yang ditampilkan pada tabel 1 adalah hasil interpolasi yang dilakukan terhadap beberapa temperatur yang perlukan.

Analisa hasil perhitungan



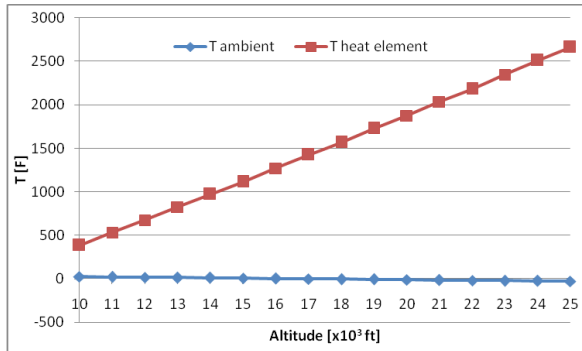
Gambar 6. Jarak transisi terhadap T

Gambar 6 adalah grafik perbandingan antara x_c (jarak transisi) terhadap temperatur ambient. Pada grafik tersebut diperlihatkan bahwa terjadinya penambahan jarak tempat terjadinya transisi aliran. Semakin tinggi temperatur, maka tempat terjadinya transisi aliran semakin jauh. Analisa ini pada aliran dengan kecepatan tetap.



Gambar 7. Perbandingan h laminar dengan h total

Gambar 7 memperlihatkan grafik perbandingan antara koefisien perpindahan panas secara konveksi yang terjadi pada aliran laminar / lokal dan sepanjang *pitot tube*. Garis miring / gradient kedua garis tersebut hampir sama. Hal tersebut memperlihatkan penambahan/ perubahan koefisien perpindahan panas secara konveksi baik pada aliran laminar maupun total cenderung konstant.



Gambar 8. Perbandingan T ambient dengan T heat element

Gambar 8 memperlihatkan grafik perbandingan antara temperatur ambient dan temperatur heat element yang mempengaruhi pitot tube. Temperatur heat element meningkat dengan tajam seiring perubahan ketinggian. Perubahan temperatur heat element sangat dipengaruhi rata-rata perpindahan panas yang terjadi.

Kesimpulan dan Saran

Dapat ditarik kesimpulan, yaitu:

- Besar rata-rata perpindahan panas sangat berpengaruh terhadap temperatur pemanas yang diperlukan untuk menjaga keseimbangan suatu temperatur.
- Temperatur pemanas yang diperlukan sangat tinggi dibandingkan perubahan temperatur ambient.

- Pada ketinggian 10000 ft, untuk menjaga temperatur pitot tube minimal 32 F (0°C) diperlukan temperatur pemanas minimal 383.3 F (194.6°C). dan untuk ketinggian 25000 ft diperlukan temperatur minimal 2661.05 F (1460.6°C).

Dari analisa diatas ada beberapa saran, antara lain yaitu:

- Untuk menentukan material pitot tube, hendaknya disesuaikan dengan karakteristik terbang pesawat tersebut, agar laju perpindahan panas yang terjadi bisa seimbang dengan perubahan temperatur ambient.
- Menggantikan fungsi pitot tube dengan berbagai sensor dapat meningkatkan akurasi dan meminimalisir pemborosan yang ditimbulkan perangkat mekanik.

Referensi

- Kreith, Frank.”Principles of Heat Transfer”, Third edition. Harper & Row, Publisher, Inc. 1973
- Hawkerbeechcraft, Raytheon. “MM & IPC Beechcraft 1900D”, Chapter 34.

Tabel 1. Sifat fisik udara dan hasil perhitungan

No	Alt	T_{∞}	T_{film}	ρ	ν	k	Pr	x_c	\bar{h}_c	Re_L	\bar{h}_L	q_c	T_{as}
	$\times 10^3$ ft	F	F	lbm/ft ³	$\times 10^{-3}$ ft ² /s	Btu/hr ft F		ft	Btu/hr ft ² F	$\times 10^5$	Btu/hr ft ² F	Btu/hr	F
1	10	23	28	0.082	0.143	0.0139	0.72	0.065	56.79	19.954	67.15	77.86	382.30
2	11	20	26	0.082	0.142	0.0139	0.72	0.065	57.19	20.095	67.56	110.64	529.75
3	12	16	24	0.082	0.141	0.0138	0.72	0.064	57.18	20.237	67.49	142.69	673.96
4	13	13	22	0.083	0.140	0.0138	0.72	0.064	57.59	20.382	67.91	176.04	824.00
5	14	9	21	0.083	0.140	0.0138	0.72	0.064	57.59	20.382	67.91	208.51	970.04
6	15	6	19	0.083	0.139	0.0137	0.72	0.063	57.58	20.528	67.84	240.63	1114.57
7	16	2	17	0.083	0.138	0.0137	0.72	0.063	58.00	20.677	68.27	274.78	1268.22
8	17	-2	15	0.084	0.137	0.0137	0.72	0.062	58.42	20.828	68.70	309.28	1423.41
9	18	-5	13	0.084	0.136	0.0136	0.72	0.062	58.42	20.981	68.64	341.79	1569.70
10	19	-9	12	0.084	0.136	0.0136	0.73	0.062	58.69	20.981	69.05	376.83	1727.33
11	20	-12	10	0.084	0.135	0.0135	0.73	0.062	58.69	21.137	68.98	409.35	1873.63
12	21	-16	8	0.085	0.134	0.0135	0.73	0.061	59.13	21.294	69.43	445.19	2034.88
13	22	-19	6	0.085	0.133	0.0134	0.73	0.061	59.13	21.454	69.36	477.94	2182.20
14	23	-23	4	0.085	0.132	0.0134	0.73	0.060	59.58	21.617	69.82	514.36	2346.07
15	24	-27	3	0.086	0.131	0.0134	0.73	0.060	60.03	21.782	70.28	551.37	2512.54
16	25	-30	1	0.086	0.130	0.0133	0.73	0.059	60.04	21.950	70.22	584.38	2661.05