

**Formulasi Efek Sifat Fisik Tanah terhadap Permeabilitas dan  
Suction Head Tanah  
(Kajian Empirik untuk Meningkatkan Laju Infiltrasi)**

(Dimuat dalam Jurnal Bionatura, Vol. 8 No. 1 Maret 2006)

Dede Rohmat<sup>1)</sup>  
Indratmo Soekarno<sup>2)</sup>

**Abstrak**

Laju infiltrasi merupakan fungsi dari parameter permeabilitas, *suction head*, dan kelembaban tanah. Parameter tersebut mempunyai hubungan erat dengan karakteristik fisik tanah. Kajian ini bertujuan untuk memperoleh persamaan empirik yang menyatakan efek variable sifat fisik tanah terhadap permeabilitas tanah dan *suction head*.

Kajian dilakukan pada tanah Oxisol yang ditempati oleh lima macam penggunaan lahan. Terkumpul 96 buah sampel tanah, yang diambil dari 16 buah titik pengamatan. Sekitar 12 parameter sifat fisik tanah di analisis untuk masing-masing sample tanah.

Hasil Kajian menunjukkan bahwa terdapat tiga parameter sifat fisik tanah yang mempunyai efek signifikan terhadap permeabilitas tanah ( $K$ ), yaitu kelembaban tanah (2; %); kandungan pori drainase cepat ( $\theta_c$ ; %), dan kandungan pori drainase lambat ( $\theta_l$ ; %). Ketiga parameter ini mempengaruhi nilai  $K$  sekitar 67,7 % dengan nilai koefisien korelasi 0,831. Hubungan antara kelembaban tanah (2) dengan nilai  $pF$  mengikuti hubungan polinomial derajat 3, dengan nilai korelasi sama dengan 1.

Secara teknis upaya perbaikan struktur tanah, drainase tanah, dan perbaikan penutupan lahan oleh vegetasi diprediksi mampu memperbaiki permeabilitas tanah, *suction head*, dan beda kelembaban tanah untuk meningkatkan laju infiltrasi.

**Kata-kata kunci:** infiltrasi; permeabilitas; sifat fisik tanah; *suction head*.

**Abstract**

*Fast infiltrate to represent function from permeability, suction head and moisture of soil parameters. Those have relation with soil physical characteristic. This study have aim to get empirical equation, expressing variable effect of nature of soil physical to permeability and suction head.*

*Study conducted at Oxisol Soil occupied by five kinds of land use. There are 96 soil samples was gathered, taken away from 16 observation points. About 12 parameters of soil physical properties were analyzed to each soil sample.*

*Result of study indicate that there are three parameter of nature of soil physical having significant effect to permeability ( $K$ ), that is soil moisture (2; %); rapid drainage pore content ( $\theta_c$  %), and slow drainage pore content ( $\theta_l$ ; %). Third the parameter influence  $K$  value about 67.7 % with correlation coefficient value 0.83. Relation between soil moisture (2) with  $pF$  value follow polynomial relation degree of three, with correlation value is equal to one.*

*Technically repair of soil structure effort, soil drainage, and improvement land coverage by vegetation predicted can improve soil permeability, suction head and difference moisture of soil to increase infiltrate rate.*

**Key words:** infiltration; soil permeability; Soil physical properties; *suction head*.

---

1) Staf Pengajar Jurusan Pendidikan Geografi FPIPS UPI

2) Staf Pengajar Departemen Teknik Sipil FTSP ITB

## 1. Pendahuluan

Pembentukan dan perluasan lahan kritis sangat berkaitan dengan proses erosi. Di kawasan DAS bagian hulu, faktor limpasan hujan (*run off*) merupakan faktor utama penyebab erosi. Ketersediaan dan akurasi data limpasan hujan dalam suatu satuan hidrologi menjadi sangat penting.

Limpasan hujan yang terukur pada sungai, merupakan akumulasi dari dua komponen, yaitu : (i) aliran langsung atau *direct run off*, yang terdiri atas aliran permukaan (*surface run off*), aliran bawah permukaan (*subsurface flow, interflow*); dan hujan di permukaan sungai; (ii) aliran air tanah (*groundwater flow*) atau aliran dasar (*base flow*).

Aliran permukaan (*surface run off*) sebagai sub komponen terbesar dalam aliran langsung, berasal dari air hujan yang mencapai sungai melalui permukaan tanah. Besar kecilnya aliran permukaan, dipengaruhi oleh curah hujan, infiltrasi, intersepsi, evapotranspirasi, dan storage.

Jika evapotranspirasi, intersepsi, dan storage diasumsikan mempunyai nilai konstan, maka fluktuasi limpasan permukaan dari suatu kejadian hujan merupakan fungsi dari infiltrasi. Limpasan permukaan terjadi, jika intensitas hujan lebih besar daripada laju infiltasi. Peningkatan jumlah infiltrasi berpengaruh langsung pada pengurangan limpasan permukaan. Upaya pengendalian limpasan permukaan, akan sangat efektif jika dilakukan melalui upaya-upaya untuk memperbesar infiltrasi.

Hubungan antara infiltrasi dengan faktor yang mempengaruhinya telah diformulasikan oleh para ahli terdahulu, seperti Green-Ampt (1911); Horton (1933, 1939); dan Philip (1957, 1969). Metode Green-Ampt merupakan metode yang sudah lama dikembangkan, namun hingga sekarang masih tetap digunakan karena hasil pendugaannya tidak lebih buruk dari hasil pendugaan metode-metode pendugaan infiltrasi yang lebih baru (Miyazaki, 1993). Selain itu, metode Green-Ampt menarik perhatian banyak peneliti, karena metodenya simpel, didasarkan atas karakteristik fisik, dan parameternya dapat diukur (Jia and Tamai, 1998).

Green-Ampt (1911), mengemukakan bahwa laju infiltrasi merupakan fungsi dari parameter hidraulik tanah; permeabilitas, *suction head*, dan kelembaban tanah. Parameter-parameter tersebut mempunyai hubungan erat dengan karakteristik fisik tanah. Hubungan antara dua

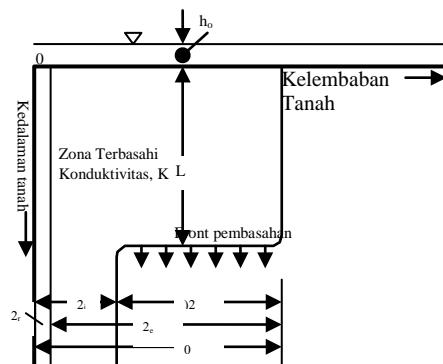
karakteristik tanah tersebut, dapat diformulasikan melalui penelitian empirik.

Dengan demikian tujuan kajian ini adalah memperoleh persamaan empirik yang menyatakan efek variable sifat fisik tanah terhadap permeabilitas tanah dan *suction head*.

## 2. Parameter Infiltrasi Metoda Green-Ampt

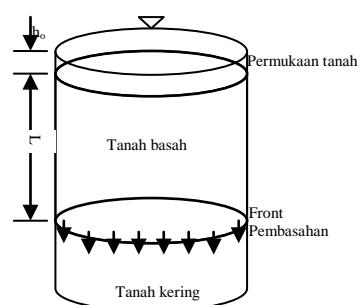
Green dan Ampt mengembangkan pendekatan Teori Fisik yang dapat diselesaikan dengan Penyelesaian Analitik Exact (*Exact Analytical Solution*) untuk menentukan infiltrasi (Chow, etc., 1981). Infiltrasi adalah penetrasi air dari permukaan ke dalam tanah secara vertical.

Dalam Pendekatan ini Green Ampt mengemukakan istilah *Front Pembasahan*, yaitu suatu batas yang jelas antara tanah yang mempunyai kelembaban tertentu ( $\theta$ ) di bawah dengan tanah jenuh ( $\eta$ ) di atasnya. *Front pembasahan* ini terdapat pada kedalaman  $L$  yang dicapai pada waktu  $t$  dari permukaan (Gambar 1).



Gbr. 1 Zonasi kelembaban tanah akibat infiltrasi (Chow. 1989: 108)

Dalam pendekatan ini kontrol volume kolom tanah digunakan sebagai satuan analisis. Kontrol volume merupakan satuan analisis yang dibatasi oleh luas permukaan dan kedalaman  $L$ . Air yang masuk ke dalam akan



Gbr. 2 Infiltrasi kolom tanah (Chow, 1989; 112)

menyebabkan pertambahan kelembaban tanah dari kelembaban (awal)  $\theta$  pada kedalaman  $L$ , maksimum menjadi  $\eta$  (porositas).

Pertambahan air sebagai hasil infiltrasi untuk suatu unit volume adalah  $L(\eta - \theta)$  atau sama dengan infiltrasi kumulatif ( $F$ ) (Gambar 2):

$$F = L(\eta - \theta) \\ = L \Delta\theta \quad (1)$$

Hukum Darcy's menyajikan persamaan momentum untuk suatu *flux*, yaitu :

$$q = -K \frac{\partial h}{\partial z} \quad (2)$$

Nilai  $q$  (Darcy flux) untuk seluruh kedalaman adalah konstan; didekati oleh  $-f$  :

$$q = K \frac{(h_1 - h_2)}{(z_1 - z_2)} \quad (3)$$

Jika  $\Psi$  adalah *suction head* tanah untuk *wetting front*;  $h_1$  adalah *head* permukaan sama dengan kedalaman genangan ( $h_o$ ), dan  $h_2$  adalah *head* tanah yang kering di bawah *wetting front*. *Head* ( $h$ ) adalah penjumlahan *suction head* ( $\Psi$ ) dan *gravity head* ( $z$ ), maka :

$$h_2 = -\Psi - L.$$

Hukum Darcy untuk sistem ini adalah :

$$f = K \left[ \frac{h_o - (-\Psi - L)}{L} \right] \\ f \approx K \left[ \frac{\Psi + L}{L} \right] \quad (4)$$

Persamaan di atas untuk asumsi bahwa genangan permukaan  $h_o$  dapat diabaikan dibandingkan dengan  $\Psi$  dan  $L$ . Jika  $h_o$  tidak diabaikan; dapat disumsikan bahwa  $h_o = 0$ . Persamaan (5), yaitu kedalaman *wetting front* disubstitusikan ke persamaan (4):

$$L = \frac{F}{\Delta\theta} \quad (5)$$

didapat :

$$f = K \left[ \frac{\Psi \Delta\theta + F}{F} \right] \quad (6)$$

Pada saat  $f = dF/dt$ , persamaan (6), merupakan persamaan untuk menyatakan tingkat infiltrasi potensial (Chow, 1981). Persamaan (6) dapat diekspresikan sebagai persamaan diferensial dalam ( $F$ ) yang tidak diketahui :

$$\frac{dF}{dt} = K \left[ \frac{\Psi \Delta\theta + F}{F} \right] \quad (7)$$

sehingga diperoleh integrasinya :

$$F(t) = \Psi \Delta\theta \ln \left( 1 + \frac{F(t)}{\Psi \Delta\theta} \right) + Kt \quad (8)$$

dengan  $F(t)$  = infiltrasi kumulatif;  $\Theta$  = *suction head*;  $\Delta\theta$  = selisih antara porositas ( $\eta$ ) dengan kandungan air awal ( $\theta$ ); dan  $K$  = permeabilitas tanah.

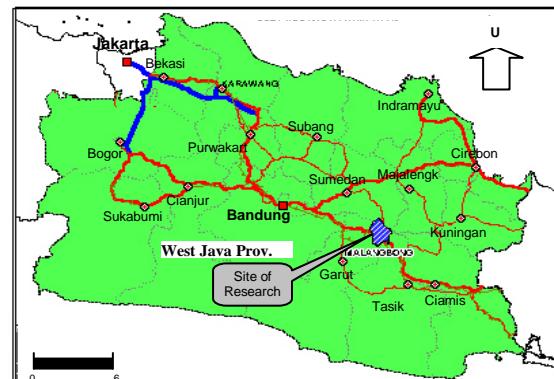
Persamaan (8), merupakan persamaan Green-Ampt; untuk menghitung infiltrasi kumulatif  $F$  potensial, sedangkan tingkat infiltrasi didapat dari

$$f(t) = K \left[ \frac{\Psi \Delta\theta}{F(t)} + 1 \right] \quad (9)$$

Berdasarkan persamaan (9), nampak bahwa laju infiltrasi berbanding lurus dengan  $\Theta$  dan  $K$ . Artinya, jika nilai parameter lain konstan, laju infiltrasi akan tinggi pada tanah yang mempunyai nilai  $\Theta$  dan  $K$  yang besar.

### 3. Karakteristik Fisik Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Kecamatan Malangbong Kabupaten Garut Propinsi Jawa Barat, Indonesia (108°14' 08"BT-108°16"BT dan 06°54' 44"LS - 07°01' 36"LS). Sekitar 7 jam perjalanan darat dari Jakarta atau 2 jam dari Bandung (Gambar 3).



Gbr. 3 Letak lokasi kajian

Lokasi penelitian terletak pada ketinggian 560 – 800 meter di atas permukaan laut (m dpl). Kemiringan lereng berkisar antara 15 - >40 %. Rata-rata hujan tahunan wilayah Cekungan Kecil Cikumutuk sekitar 2.676 mm per tahun.

Secara geologi, batuan daerah penelitian merupakan hasil erupsi gunung api tua yang diperkirakan terjadi pada zaman plio-plestosen, umumnya terdiri dari perselingan breksi, lava, tufa dan lahar bersusunan andesit sampai basal (Purwanto, 1999).

Menurut Sistem Taxonomy, tanah di lokasi termasuk Great Group Oxorthox; Haplorthox; Rodorthox; dan Chromorthox atau Latosol oksic; Latosol haplik; Latosol rodik; dan Latosol

kromik (Darmawidjaja, 1990). Tanah-tanah ini mempunyai tekstur *clay loam* di permukaan dan *clay* di bawah permukaan.

Lima macam penggunaan lahan ditemukan di atas tanah tersebut yaitu palawija (second crops); agroforestri (agroforestry); lahan tidak digarap (*non arable land*), hutan atau kayui campuran (forest or mix timbres); dan permukiman (*settlement*).

*Palawija* merupakan budidaya lahan kering dengan dominasi tanaman semusim; sedang tanaman tahunan difungsikan sebagai tanaman pelindung atau tanaman batas lahan. Jenis tanaman yang dikembangkan pada lahan ini antara lain jagung, kacang tanah, ubi jalar, padi gogo, singkong, jahe, dan cabe keriting. Palawija tersebar pada tanah *Chromorthox*, *Haplorthox*, dan *Oxthorthox*.

Pengolahan tanah dan pemakaian van organik intensif. Seluruh lahan telah berteras, kemiringan lahan dianggap sama dengan nol. Secara kualitatif, penutupan lahan oleh tajuk tanaman bervariasi dari 50 % sampai dengan 90 %.

*Agroforestry*, tertdiri atas hutan rakyat dan sistem tumpang sari. Sistem hutan rakyat, adalah sistem pemanfaatan lahan dengan tanaman tahunan (100 %). Dominasi tanaman berupa *Albizia* dari jenis Sengon dan Sengon Buto, dengan jarak tanam masing-masing sekitar 2 x 3 meter dan 5 x 5 meter. Penutupan lahan mencapai 80 - 100 %. Pada sistem tumpang sari, tanaman tahunan yang ditemukan adalah cengklik dan sengon, dengan jarak tanam sekitar 10 x 10 meter. Tanaman semusim yang tumbuh di antara tanaman cengklik adalah cabe, sedangkan di antara tanaman sengon adalah jagung dan singkong. Penutupan lahan pada ini sekitar 70 %.

Penggunaan lahan agroforestri tersebar pada tanah *Chromorthox*, *Haplorthox*, *Oxthorthox*, dan *Rhodorthox*. Lahan ini umumnya telah berteras, sehingga kemiringan lereng dianggap sama dengan nol.

*Lahan yang tidak digarap*, tersebar pada tanah *Haplorthox*, dan *Rhodorthox*. Tumbuhan dominan adalah semak dari alang-alang dengan penutupan lahan 100 %.

*Hutan (Kayu Campuran)*, merupakan lahan yang didominasi tanaman tahunan dari jenis kayu-kayuan dan difungsikan sebagai hutan lindung. Di bawah tegakan tumbuh tanaman perdu, semak, dan rumput liar. Dengan demikian, lahan tertutup rapat oleh tajuk tanaman (100 %). Areal ini menempati tanah

*Haplorthox* dan *Chromorthox*, dengan kemiringan dianggap sama dengan nol.

Permukiman di lokasi penelitian merupakan pemukiman khas upland; berteras, terdapat (tampungan) storage di permukaan lahan, tidak mempunyai saluran drainase khusus, dan mempunyai halaman bermain dan budidaya tanaman pekarangan. Penutupan lahan di areal permukiman sekitar 30 – 40 %. Tanah yang ditempati untuk permukiman adalah tanah *Haplorthox*, *Oxthorthox*, dan *Rhodorthox*.

#### 4. Pelaksanaan Kajian

Kajian dilakukan menurut serangkaian kegiatan berikut:

- (1) Interpretasi foto udara, dilakukan untuk mengidentifikasi bentuk, luas, morfologi, macam penggunaan lahan lokasi penelitian.
- (2) Observasi lapangan dilakukan pemeriksaan lapangan hasil interpretasi foto udara.
- (3) Pengambilan sampel tanah. *Kegiatan ini* dilakukan pada 16 titik pengamatan, representatif tersebar pada seluruh macam penggunaan lahan. Sampel tanah yang diambil adalah sampel tanah terganggu dan tidak terganggu (*disturbed* dan *undisturbed soil sample*). Diambil enam buah sampel tanah terganggu dan tidak terganggu pada masing-masing titik sampel pengamatan, mewakili kedalaman 0-20 cm; 20 – 40 cm; 40 – 60 cm; 60 – 80 cm; 80 – 100 cm; dan 100 – 120 cm.
- (4) Jumlah titik sampel untuk penggunaan lahan agroforestri 4 buah; hutan 2 buah; lahan tidak digarap 2 buah; permukiman 3 buah; dan lahan palawija 5 buah titik sample.
- (5) Analisa Laboratorium. Variabel yang dianalisis untuk sampel tanah terganggu adalah:
  - kandungan pasir kasar (*coarse sand*;  $s_c$ ); persentase kandungan fraksi primer tanah yang berukuran (2000 – 200)  $\mu\text{m}^1$  dalam satu masa tanah.
  - pasir halus ( $s_f$ ); persentase kandungan fraksi primer tanah yang berukuran (200– 20)  $\mu\text{m}$  dalam satu masa tanah.
  - debu (*silt*;  $s_i$ ); persentase kandungan fraksi primer tanah yang berukuran (20– 2)  $\mu\text{m}$  dalam satu masa tanah.

<sup>1</sup> International Soil Science Society Classification (ISSS), dalam Laat (1987)

- lempung (*clay*,  $c_l$ ); persentase kandungan fraksi primer tanah yang berukuran  $< 2 \mu\text{m}$  dalam satu massa tanah.
- kandungan bahan organik ( $O_m$ ); massa bahan organik ( $O_m$ ) yang terkandung dalam suatu massa tanah (Koorevaar, etc., 1983).

Variabel yang dianalisis untuk tanah tidak terganggu:

- porositas total ( $\eta$ ); perbandingan antara volume pori (rongga) tanah dengan volume tanah total (Sunggono, 1984).
- kandungan pori drainase cepat ( $\eta_c$ ); perbandingan volume pori tanah yang berukuran  $> 100 \mu\text{m}$  dengan volume total (Koorevaar, etc., 1983).
- kandungan pori drainase lambat ( $\eta_l$ ); perbandingan volume pori tanah yang berukuran (30–100)  $\mu\text{m}$  dengan volume total (Koorevaar, etc., 1983).
- berat jenis tanah (*bulk density*;  $\rho_b$ ); perbandingan antara massa partikel padat tanah atau tanah kering ( $M_p$ ) dengan volume tanah total ( $V_t$ ) (Hardjowigeno, 2003; Koorevaar, etc., 1983; Sunggono, 1984).
- kerapatan jenis butir tanah (*partikel density*;  $\rho_p$ ); perbandingan antara massa partikel padat tanah ( $M_p$ ) dengan volume partikel padat tanah ( $V_p$ ) (Hardjowigeno, 2003; Koorevaar, etc., 1983; Sunggono, 1984).
- nilai *potential free energy* (*pF*); nilai logaritma dari *tinggi kolom air* (cm).
- kelembaban tanah ( $\theta$ ); banyaknya air tanah yang terkandung dalam tanah, dinyatakan oleh persentase kandungan air dalam *volume total* tanah sampel atau disebut *volumic water content* (Koorevaar, etc., 1983), yaitu perbandingan antara banyaknya air (volume air,  $V_a$ ;  $\text{cm}^3$ ) yang terkandung dalam satu volume total sampel tanah tertentu ( $V_t$ ), atau diekspresikan oleh *Volumetric Moisture Content* (Laat, 1987).
- permeabilitas ( $K$ ); kemampuan tanah untuk mengalirkan air dalam media porus atau tanah (cm/jam atau mm/detik) (Koorevaar, etc., 1983).

Analisis dilakukan di Laboratorium Puslittanak (Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat) Bogor.

Analisis hubungan/efek sifat fisik tanah terhadap permeabilitas tanah ( $K$ ) dilakukan

dengan regresi linier berganda metode *backward* (eliminasi ke belakang), sedangkan analisis hubungan antara kandungan air tanah (kelembaban tanah) dengan *pF* dilakukan dengan regresi polynomial.

## 5. Hasil dan Pembahasan

### 5.1 Efek Sifat Fisik terhadap Permeabilitas Tanah

Permeabilitas menyatakan kemampuan media porus dalam hal ini adalah tanah untuk meloloskan zat cair (air hujan) baik secara lateral maupun vertikal. Tingkat permeabilitas tanah (cm/jam) merupakan fungsi dari berbagai sifat fisik tanah.

Terdapat 12 sifat fisik tanah yang diduga berpengaruh terhadap permeabilitas tanah, yaitu kandungan air tanah ( $\theta$ ); berat volume kering ( $\rho_b$ ); porositas total ( $\eta$ ); pori drainase cepat ( $\eta_c$ ); pori drainase lambat ( $\eta_l$ ); kandungan pasir kasar ( $s_c$ ); kandungan pasir halus ( $s_f$ ); kandungan debu (silt;  $s_i$ ); kandungan liat (clay;  $c_l$ ); kandungan bahan organic ( $O_m$ ); partikel density ( $\rho_p$ ); kandungan air tersedia ( $w_c$ ). Nilai setiap varibel yang disebutkan di atas diperoleh melalui analisis laboratorium.

Analisis hubungan antara variabel permeabilitas tanah dengan sifat-sifat fisik tanah secara kumulatif dilakukan untuk seluruh data (96 data). Data ini terkumpul dari 16 titik sampel; masing-masing titik sampel mempunyai 6 data, yaitu data per kedalaman tanah 20 cm dari permukaan hingga 120 cm. Namun demikian setelah melalui analisis regresi linier berganda per titik sampel, diperoleh bahwa terdapat empat buah titik sampel yang dinyatakan sebagai data *outlier* (menyimpang) dan dikeluarkan dari analisis ini. Dengan demikian analisis regresi ganda diwakili oleh 72 data.

Dengan bantuan paket Program SPSS Versi 12; masing-masing variabel yang diduga berpengaruh pada permeabilitas tanah dianalisis secara bersama-sama dalam bentuk analisis regresi linier berganda - metode *Backward*; yaitu suatu metode analisis regresi linier berganda dengan cara eliminasi ke belakang. Pada tahap awal semua variabel bebas dianalisis secara bersama-sama, sehingga diperoleh suatu nilai konstanta persamaan regresi; nilai koefisien setiap variabel; dan nilai koefisien  $t$ , serta nilai koefisien signifikansi untuk setiap variabel. Variabel yang mempunyai koefisien  $t$  terkecil dan nilai koefisien signifikansi lebih besar dari 0,1 dikeluarkan dari analisis. Analisis regresi linier selanjutnya dilakukan tanpa melibatkan

variable yang telah dikeluarkan. Proses analisis ini dilakukan hingga diperoleh variable yang mempunyai nilai koefisien signifikansi lebih kecil atau sama dengan 0,1 ( $\leq 0,1$ ).

Analisis regresi dibangun dengan seperangkat asumsi, yaitu :

- (i) Normalitas, bahwa setiap nilai-nilai Y untuk setiap X tertentu didistribusikan secara normal di sekitar *mean*-nya. Asumsi ini menandakan bahwa distribusi dari *error sampling* adalah normal;
- (ii) Homoskedastisitas, yaitu variasi nilai-nilai Y di sekitar nilai meannya adalah konstan untuk setiap nilai X; dan
- (iii) Linieritas, yaitu hubungan antara variable terikat dengan variable bebas adalah linier.

Dalam kasus ini (mencari hubungan regresi linier antara variabel K dengan variabel sifat fisik tanah), asumsi-asumsi tersebut dapat dipenuhi manakala dilakukan transformasi data. Transformasi yang dilakukan adalah transformasi *semilog*, yaitu melakukan transformasi log terhadap variabel terikat K ( $\ln K$ ), namun tidak terhadap variabel bebas.

Hasil analisis tahap awal menunjukkan bahwa pola hubungan  $\ln K$  sebagai fungsi dari sifat-sifat fisik tanah disajikan seperti pada persamaan (10). Hubungan ini mempunyai nilai koefisien determinasi yang disesuaikan sebesar 0,649 dan nilai korelasi 0,839. Koefisien-koefisien ini mengandung arti bahwa 64,9 % nilai  $\ln K$  dapat dijelaskan oleh kedua belas sifat fisik tanah dengan hubungan cukup erat (83,9 %).

$$\ln K = -0,306 - 0,100\theta - 1,949.p - 0,021.\eta + 0,135.\eta_c + 0,461.\eta_l + 0,064.w_c + 0,077.s_c - 0,050.s_f + 0,002.s_i - 0,093.o_m + 1,089.p_d \quad (10)$$

Berdasarkan persamaan (10), diidentifikasi variabel yang mempunyai efek tidak signifikan terhadap  $\ln K$ . Variabel  $s_i$  mempunyai nilai t yang paling rendah yaitu 0,096 dan nilai signifikansi 0,924. Oleh karena itu variabel  $s_i$  dikeluarkan dan tidak disertakan pada penghitungan tahap kedua. Hasil penghitungan tahap kedua diperoleh persamaan baru (seperti ditunjukkan oleh persamaan (11)). Persamaan (11) mempunyai nilai koefisien determinasi lebih baik dari Persamaan (10), yaitu 0,655.

$$\ln K = -0,204 - 0,101\theta - 2,005.p - 0,023.\eta + 0,135.\eta_c + 0,455.\eta_l + 0,066.w_c + 0,077.s_c + 0,055.s_f - 0,090.o_m + 1,177.p_d \quad (11)$$

Proses yang sama terus dilakukan hingga diperoleh variable-variabel yang mempunyai nilai t besar dan nilai signifikansi lebih kecil dari 0,1 ( $< 0,1$ ). Serial persamaan sebagai hasil proses eliminasi ke belakang (*backward*) disajikan di bawah ini.. Nilai yang disertakan dalam tanda kurung secara berurutan adalah nilai koefisien determinasi yang telah disesuaikan (*adjusted R square*), dan nilai koefisien korelasi ( $r$ ).

$$\ln K = -1,608 - 0,102\theta - 1,278.p + 0,132.\eta_c + 0,448.\eta_l + 0,064.w_c + 0,077.s_c + 0,049.s_f - 0,084.o_m + 0,949.p_d ;$$

$$\ln K = -1,768 - 0,104\theta - 1,1778.p + 0,133.\eta_c + 0,477.\eta_l + 0,067.w_c + 0,084.s_c - 0,069.o_m + 0,958.p_d ; (0,665; 0,838)$$

$$\ln K = -3,011 - 0,102\theta + 0,152.\eta_c + 0,546.\eta_l + 0,082.w_c + 0,079.s_c - 0,078.o_m + 0,642.p_d ; (0,670; 0,838)$$

$$\ln K = -1,451 - 0,101\theta + 0,154.\eta_c + 0,548.\eta_l + 0,085.w_c + 0,079.s_c - 0,087.o_m ; (0,675; 0,838)$$

$$\ln K = -1,386 - 0,096\theta + 0,152.\eta_c + 0,540.\eta_l + 0,054.w_c + 0,075.s_c ; (0,677; 0,837)$$

$$\ln K = -1,695 - 0,090\theta + 0,154.\eta_c + 0,669.\eta_l + 0,073.s_c ; (0,680; 0,836)$$

Variabel  $s_c$  pada persamaan yang dituliskan terakhir, mempunyai koefisien t paling kecil dan koefisien signifikan lebih besar dari 0,1. Oleh karena itu variabel ini dikeluarkan dari persamaan dan dihitung persamaan baru. Hasil penghitungan ditunjukkan pada persamaan (12) yang merupakan persamaan akhir hasil penghitungan. Pada persamaan akhir ini, terdapat tiga variabel sifat fisik tanah yang mempengaruhi secara signifikan terhadap permeabilitas tanah ( $\ln K$ ). Variabel tersebut adalah kandungan air awal ( $\theta$ ); kandungan pori drainase cepat ( $\eta_c$ ); dan kandungan pori drainase lambat ( $\eta_l$ ). Semua variabel tersebut mempunyai nilai koefisien signifikan  $< 0,1$ .

$$\ln K = -2,391 - 0,090\theta + 0,161.\eta_c + 0,845.\eta_l \quad (12)$$

Persamaan (12), mempunyai koefisien determinasi 0,677 dan nilai koefisien korelasi 0,831. Artinya 67,7 % nilai  $\ln K$  dapat dijelaskan oleh tiga variabel sifat fisik tanah ( $\theta$ ;  $\eta_c$ ; dan  $\eta_l$ ), sedangkan 32,3 % lainnya dijelaskan oleh variabel lain.

Persamaan (12) merupakan formula yang menyatakan efek sifat fisik tanah terhadap

permeabilitas tanah dalam bentuk data yang ditransformasi, untuk mendapatkan nilai  $K$  dilakukan retransformasi persamaan (12) sehingga diperoleh persamaan (13).

$$K = e^{-2,391 - 0,090\theta + 0,161\eta_c + 0,845\eta_l} \quad (13)$$

## 5.2 Efek Kelembaban terhadap Suction Head

Nilai  $pF$  (*potensial free energi*) merupakan pendekatan untuk menentukan nilai *suction head* ( $\psi$ ). *Suction head* adalah suatu nilai yang menyatakan energi hisapan tanah terhadap air yang ada di dalam pori atau sekitar butir tanah (soil water). Energi hisapan ini setara dengan energi yang diperlukan untuk mengeluarkan sejumlah air yang terdapat dalam pori tanah dan/atau sekitar butir tanah.

Energi diukur dengan menggunakan satuan tekanan atmosfer atau dengan tinggi kolom air. Nilai  $pF$  merupakan nilai logaritma dari tinggi kolom air. Semakin kecil kandungan air semakin besar energi yang diperlukan untuk mengeluarkannya dan sebaliknya.

$$pF = \log (-\psi)$$

Atau

$$\psi = -(10^{pF}) \quad (14)$$

Tabel 1. Kelembaban Tanah Rata-rata (%) pada setiap pF menurut kedalaman tanah (cm)

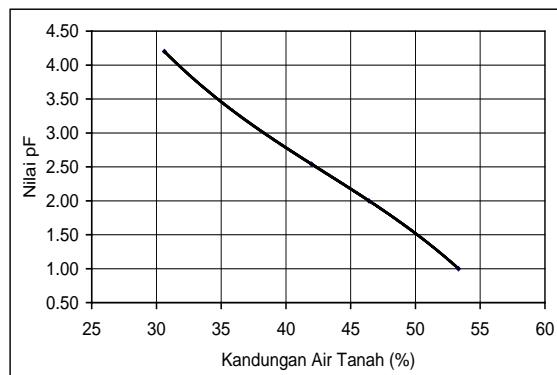
Kedalaman (cm)	Nilai pF			
	1	2	2.54	4.2
0 - 20	51.66	44.46	39.30	27.26
> 20 - 40	51.16	44.56	39.64	28.41
> 40 - 60	53.69	47.38	42.42	31.22
> 60 - 80	54.19	48.18	43.17	32.13
> 80 - 100	53.99	47.98	43.08	32.23
> 100 - 120	55.22	45.89	44.25	32.47
Kelembaan Rata-rata (%)	53.32	46.41	41.98	30.62

Dengan pendekatan ini, kandungan air tanah dapat digunakan mengukur nilai  $pF$  sebagai. Analisis yang dilakukan terhadap sejumlah data hasil analisis tanah di laboratorium diperoleh hubungan antara kandungan air tanah awal ( $\theta_0$ ) dengan nilai  $pF$ . Hubungan tersebut dinyatakan dengan persamaan (15) dan merupakan hubungan non linier derajat 3 yang sempurna dengan nilai korelasi sama dengan satu . Data persentase kandungan air dan nilai  $pF$  pada setiap titik sampel disajikan pada Tabel 1 dan hubungan antara  $pF$  dengan kelembaban tanah disajikan pada Gambar 4.

$$pF = 29,300179 - 1,683814\theta + 0,037132\theta^2 - 0,000291\theta^3 \quad (15)$$

dengan persamaan ini, maka *suction head* ( $\psi$ ):

$$\psi = -(10)^{29,300179 - 1,683814\theta + 0,037132\theta^2 - 0,000291\theta^3} \quad (16)$$



Gbr 4. Nilai  $pF$  sebagai fungsi dari kelembaban tanah (2; %)

## 6. Upaya Meningkatkan Laju Infiltrasi

Berdasarkan persamaan (13), nampak bahwa laju infiltrasi merupakan fungsi dari permeabilitas tanah, *suction head*, dan beda kelembaban tanah.

### 6.1 Memperbesar Permeabilitas Tanah

Infiltrasi berbanding lurus dengan permeabilitas tanah. Infiltrasi menjadi besar jika nilai permeabilitas tanah juga besar. Kajian empiric membuktikan bahwa nilai permeabilitas tanah bergantung atas variable kelembaban tanah awal ( $\theta_0$ ); kandungan pori drainase cepat ( $\eta_c$ ); dan kandungan pori drainase lambat ( $\eta_l$ ).

Konstanta  $\eta_c$  dan  $\eta_l$  dalam persamaan (13) mempunyai nilai positif, sedangkan konstanta  $\theta$  bernilai negatif. Artinya, kandungan  $\eta_c$  dan  $\eta_l$  yang tinggi akan memberikan nilai permeabilitas yang tinggi, sedangkan nilai  $\theta$  yang tinggi akan memberikan nilai permeabilitas yang rendah.

Dengan fakta ini, maka upaya yang dapat dilakukan untuk memperbesar permeabilitas tanah, antara lain :

- 1) Memperbaiki struktur tanah.

Pemberian struktur tanah dapat dilakukan melalui pemebrian bahan organik, pemberian bahan pemantap tanah, perbaikan porositas dan aerasi permukaan dan bawah permukaan tanah, serta penanaman vegetasi penutup lahan. Vegetasi penutup tanah berperan dalam menjaga tersumbatnya pori permukaan tanah oleh pecahan partikel tanah,

perbaikan aerasi dan porositas bawah permukaan tanah melalui akarnya, dan memberikan tambahan bahan organik ke dalam tanah.

## 2) Memperbaiki drainase tanah

Perbaikan drainase tanah mencakup perbaikan drainase permukaan tanah dan drainase bawah permukaan tanah.

## 6.2 Memperbesar nilai Suction head ( $\psi$ )

Infiltrasi berbanding lurus dengan suction head. Nilai Suction head ditentukan oleh variabel kandungan air tanah (kelembaban tanah;  $\theta$ ), semakin kecil kelembaban tanah, suction head semakin besar. Angka negatif pada persamaan (16) menunjukkan arah hisapan tanah. Peningkatan nilai suction head dilakukan cara memperbaiki drainase tanah, terutama drainase bawah permukaan tanah.

## 6.3 Memperbesar beda kandungan kelembaban ( $\Delta\theta$ )

Infiltrasi berbanding lurus dengan parameter perbedaan kandungan ( $\Delta\theta$ ). Parameter perbedaan kandungan air menjelaskan berapa besar (%) pori-pori tanah yang masih dapat menampung air. Nilai perbedaan ini merupakan ekspresi dari kandungan porositas total ( $\eta$ ) dikurangi oleh kelembaban tanah ( $\theta$ ). Upaya yang dilakukan untuk memperbesar permeabilitas tanah, juga merupakan upaya untuk memperbesar nilai parameter ini.

Dalam lingkup hamparan lahan, upaya peningkatan nilai permeabilitas, suction head, dan perbedaan kandungan kelembaban akan sangat nyata meningkatkan kuantitas infiltrasi, sekaligus mengurangi limpasan permukaan secara nyata pula. Memperbesar infiltrasi pada musim surplus air sama artinya dengan menabung air untuk masa defisit air.

## 7. Konklusi

(1) Dari dua belas sifat fisik tanah, terdapat tiga parameter yang mempunyai efek signifikan terhadap permeabilitas tanah ( $K$ ), yaitu kelembaban tanah (2; %); kandungan pori drainase cepat (0c; %), dan kandungan pori drainase lambat (0l; %). Efek tersebut dinyatakan oleh persamaan:

$$K = e^{-2,391 - 0,090\theta + 0,161\eta_c + 0,845\eta_l}$$

Persamaan ini mempunyai koefisien determinasi 0,677 dan nilai koefisien korelasi 0,831. Artinya 67,7 % nilai Ln  $K$  dijelaskan oleh tiga variabel tersebut, sedangkan 32,3 % lainnya dijelaskan oleh variabel lain.

(2) Hubungan antara kelembaban tanah dengan nilai  $pF$  mengikuti hubungan polinomial derajat 3 dengan nilai korelasi sama dengan 1. Hubungan tersebut dinyatakan oleh:

$$pF = 29,300179 - 1,683814\theta + 0,037132\theta^2 - 0,000291\theta^3$$

Sedangkan nilai *suction head* diduga oleh persamaan :

$$\psi = -(10)^{29,300179 - 1,683814\theta + 0,037132\theta^2 - 0,000291\theta^3}$$

(3) Secara teknis upaya perbaikan struktur tanah, drainase tanah, dan perbaikan penutupan lahan oleh vegetasi diprediksi mampu memperbaiki permeabilitas tanah, *suction head*, dan beda kelembaban tanah untuk meningkatkan laju infiltrasi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Chow, V.T., Maidment, D.R., and Mays L.W. (1988), *Applied hydrology*, McGraw-Hill Book Company, New York, St. Louis, etc.; 110-113.
- Darmawidjaja Isa (1990), *Klasifikasi tanah, dasar teori bagi peneliti tanah dan pelaksana pertanian di Indonesia*, Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Hardjowigeno Sarwono, (2003), *Ilmu Tanah*, Akademika Pressindo, Jakarta
- Jia, Y. and Tamai, N. (1998), Modeling infiltration into multi-layered soil during an unsteady rain. *Journal of Hydroscience and Hydraulic Engineering*, Vol.16, No. 2, Nov.- 1998;1 -10
- Koorevaar, P., G. Menelik and C. Dirksen (1983), *Elements of soil physics*. Department of Soil Science and Plant Nutrition, Agricultural University of Wageningen, The Netherlands, Elsevier, Amsterdam, Oxford, New York, Tokyo.
- Laat, P.J.M. de (1987), *Agricultural hydrology*, Intern. Institute for Hydraulic and environmental Engineering, Delft Netherlands; 5-6.
- Miyazaki, T. (1993), dalam Darmawan, I. (1998), *Kajian laju infiltrasi berdasarkan jenis batuan dan data sifat fisik tanah (studi kasus: kawasan Bandung Utara dan wilayah Jakarta)*; Tesis Magister. Bidang Khusus Hidrogeologi, Rekayasa Pertambangan, ITB.
- Purwanto, E. (1999), *Erosion, sediment delivery and soil conservation in an upland agricultural catchment in West Java, Indonesia: a hydrological approach in a socio-economic context*. Academisch Proefschrift, Vrije Universiteit te Amsterdam.
- Sunggono, Kh, (1984), *Mekanika Tanah*, Nova, Bandung.

## Lampiran A Data sifat fisik tanah dan permeabilitas tanah

No sampel	Kadar Air (%)	Berat Jenis Tanah (gr/cm <sup>3</sup> )	Porositas (%)	Porí (%)		Air Tersedia (%)	Tekstur (%)				Bahan Organik (%)	Kerapatan Jenis Butir Tanah (gr/cm <sup>3</sup> )	Permeabilitas (cm/jam)
				Cepat	Lambat		Pasir Kasar	Pasir Halus	Debu	Liat (Clay)			
28/I	36,20	0,97	61,20	16,1	5,30	12,30	3,87	3,39	51,60	41,14	2,81	2,50	7,65
28/II	40,40	0,99	62,10	16,3	5,20	12,20	2,37	2,33	52,12	43,18	1,91	2,61	1,02
28/III	43,90	1,05	59,80	9,2	5,20	12,80	2,39	2,05	55,78	39,78	1,47	2,61	0,76
28/IV	47,00	1,12	56,80	9,50	4,80	11,30	2,02	1,47	56,38	40,13	0,90	2,59	0,24
28/V	48,50	1,08	58,50	9,60	5,00	11,60	2,05	1,46	54,33	42,16	0,97	2,60	2,08
28/VI	48,50	1,03	59,80	9,10	4,90	11,10	1,26	1,71	62,08	34,95	0,88	2,56	0,17
30/I	36,80	0,97	61,80	17,00	5,30	11,30	4,44	3,86	57,16	34,54	3,00	2,54	8,32
30/II	32,60	0,90	65,40	23,40	4,90	11,00	4,32	3,57	55,93	36,18	2,65	2,60	9,47
30/III	41,50	1,10	57,50	10,00	5,00	11,00	3,37	2,30	55,17	39,16	1,00	2,59	0,30
30/IV	45,60	1,11	57,10	10,00	4,80	11,50	3,52	2,63	60,48	33,37	0,86	2,59	2,19
30/V	46,40	1,13	56,20	9,00	4,80	11,80	3,52	2,69	58,76	35,03	0,83	2,58	0,71
30/VI	45,70	1,12	57,70	8,80	5,00	13,90	6,42	2,75	48,71	42,12	1,00	2,59	0,46
32/I	34,60	1,01	60,50	17,00	5,20	11,20	3,78	3,60	56,03	36,69	3,03	2,56	3,84
32/II	35,90	0,91	65,10	26,00	4,40	10,50	3,66	3,90	54,05	38,39	2,65	2,61	6,12
32/III	44,30	1,09	57,40	9,60	5,40	11,30	2,64	2,88	53,07	41,21	2,69	2,56	0,14
32/IV	44,60	1,02	60,60	8,20	5,50	13,80	2,65	3,03	54,02	40,30	3,22	2,59	0,13
32/V	45,20	1,05	58,30	9,80	4,90	11,30	3,09	3,37	51,47	42,07	3,41	2,52	0,06
32/VI	46,40	0,97	61,20	8,40	5,00	15,60	2,68	4,15	56,27	36,90	5,09	2,50	0,68
41/I	50,10	1,07	57,20	7,40	5,00	17,40	5,43	2,72	57,67	34,18	5,50	2,50	0,19
41/II	44,10	1,06	57,60	8,70	5,00	10,80	5,08	2,47	46,97	45,48	2,50	2,50	0,76
41/III	43,70	1,07	57,50	10,20	4,90	10,20	3,22	2,22	45,70	48,86	1,07	2,52	0,28
41/IV	43,70	1,09	57,60	8,70	5,00	10,40	4,41	2,27	44,62	48,70	1,38	2,57	1,14
41/V	45,20	1,07	58,70	7,60	5,00	10,60	3,94	2,31	44,33	49,42	0,88	2,54	1,07
41/VI	46,30	1,08	58,60	8,90	4,90	10,50	4,20	2,24	48,25	45,31	0,81	2,61	0,32
53/I	34,00	0,97	61,80	18,00	5,00	11,40	3,78	2,48	50,04	43,70	4,15	2,54	4,28
53/II	39,00	1,07	57,40	11,20	5,20	10,40	3,61	3,01	49,46	43,92	1,12	2,51	0,64
53/III	38,90	1,03	59,30	12,30	5,10	11,10	3,55	2,01	41,55	52,89	3,17	2,53	2,55
53/IV	43,50	1,11	58,10	10,30	5,00	10,10	2,44	1,34	37,95	58,27	1,64	2,65	0,77
53/V	46,30	1,12	56,90	8,90	5,00	10,30	2,38	1,64	39,67	56,31	1,24	2,60	0,48
53/VI	48,40	1,13	56,50	8,20	4,50	10,50	1,96	1,14	36,10	60,80	1,09	2,60	0,90
57/I	28,90	0,89	65,60	28,40	4,40	10,00	2,56	1,43	41,36	54,65	1,91	2,59	15,34
57/II	38,30	0,91	64,60	26,00	4,40	8,80	3,38	1,61	45,15	49,86	3,09	2,57	8,90
57/III	46,10	1,11	56,50	8,70	5,00	10,30	1,91	0,94	34,32	62,83	1,12	2,55	0,13
57/IV	46,50	1,09	56,90	7,60	5,00	10,30	1,97	1,28	32,94	63,81	0,90	2,53	0,25
57/V	47,90	1,11	57,10	9,40	5,00	12,00	2,40	0,99	35,88	60,73	0,78	2,59	0,11
57/VI	44,90	1,03	59,90	8,90	4,90	12,90	2,66	1,40	34,70	61,24	0,62	2,57	0,52
68/I	38,80	0,90	65,40	20,40	5,10	12,30	2,33	2,51	37,59	57,57	2,26	2,60	4,01
68/II	37,10	0,88	65,80	25,00	4,50	10,20	1,70	1,60	46,25	50,45	2,02	2,57	15,02
68/III	42,00	0,97	62,40	14,10	5,20	12,80	2,00	1,32	39,70	56,98	1,47	2,58	0,44
68/IV	50,70	0,98	62,60	9,50	5,00	15,10	1,98	0,84	43,21	53,97	0,71	2,62	0,61
68/V	55,50	1,06	58,80	8,50	4,90	11,90	3,07	1,25	42,47	53,21	0,59	2,57	0,18
68/VI	54,10	1,03	59,40	9,20	5,00	13,90	4,19	1,32	43,50	50,99	0,62	2,54	0,30
78/I	33,90	0,98	61,60	16,00	5,40	11,60	4,75	3,04	48,09	44,12	1,98	2,55	17,42
78/II	33,20	0,87	66,80	26,00	4,80	10,40	3,90	3,45	50,41	42,24	1,81	2,62	16,76
78/III	35,10	1,00	6102,00	17,50	5,00	9,10	4,23	2,62	50,03	43,12	1,66	2,58	14,08
78/IV	35,50	0,92	64,30	22,30	4,60	9,10	4,17	1,95	46,36	47,52	1,71	2,58	13,32
78/V	39,10	0,98	61,00	16,40	5,10	10,10	15,35	3,47	43,90	37,28	1,17	2,51	1,60
78/VI	44,00	0,98	63,00	13,60	5,50	10,60	9,48	2,09	40,52	47,61	0,60	2,65	0,91
104/I	36,50	1,01	59,30	14,20	5,40	10,80	3,91	2,57	48,46	45,06	2,57	2,48	5,74
104/II	49,80	1,10	55,80	8,80	4,90	10,30	2,18	1,31	43,06	53,45	1,43	2,49	0,02
104/III	51,90	1,07	57,20	8,20	5,00	10,10	1,38	1,64	41,49	55,49	1,03	2,50	0,05
104/IV	48,90	1,01	59,30	9,20	5,30	10,20	1,26	1,21	38,35	59,18	0,90	2,43	1,31
104/V	49,80	1,04	59,10	9,30	4,90	10,20	1,55	1,24	38,76	58,45	1,07	2,54	0,31
104/VI	50,50	1,03	59,80	9,10	5,30	12,70	1,84	1,21	38,67	58,28	1,03	2,56	0,05
122/I	35,10	0,92	64,30	20,30	5,10	12,20	2,71	5,92	47,17	44,20	2,91	2,58	3,09
122/II	43,20	0,92	63,30	14,10	5,20	15,30	2,69	2,20	42,65	52,47	2,02	2,51	4,76
122/III	47,80	0,99	60,60	10,70	4,90	13,70	2,12	1,68	41,85	54,35	1,04	2,51	0,32
122/IV	48,70	0,99	62,40	10,00	5,50	12,20	2,37	2,29	44,45	50,89	0,98	2,63	1,52
122/V	49,20	1,02	60,50	11,10	5,20	10,40	2,88	1,56	44,33	51,23	0,69	2,58	0,62
122/VI	49,90	0,99	61,00	10,20	5,20	13,30	2,62	1,95	42,16	53,27	0,93	2,54	0,36
104P/I	32,70	1,03	59,60	14,70	5,20	11,60	4,92	2,87	52,55	39,66	1,41	2,55	5,83
104P/II	32,10	1,01	59,60	15,90	5,00	9,90	2,61	2,20	43,91	51,28	1,26	2,50	4,47
104P/III	30,90	0,92	64,30	24,50	4,70	8,40	3,54	2,36	45,52	48,58	0,88	2,58	10,68
104P/IV	31,70	0,89	65,40	24,20	4,80	9,10	4,05	2,41	37,36	56,13	0,81	2,57	8,85
104P/V	31,80	0,90	64,00	23,60	4,50	9,20	4,43	2,54	41,44	51,59	0,78	2,50	12,81
104P/VI	35,90	0,97	61,80	16,50	5,10	10,60	3,88	2,87	34,09	59,16	0,62	2,54	8,29
116/I	51,50	1,07	57,40	11,10	5,50	13,00	9,74	4,23	45,24	40,79	4,38	2,51	3,08
116/II	49,40	1,05	59,50	9,40	5,50	13,60	5,46	2,88	40,15	51,51	1,14	2,59	1,29
116/III	50,50	1,11	66,10	8,60	5,00	11,20	3,86	2,54	30,54	62,96	0,86	2,53	0,16
116/IV	49,10	1,08	58,10	11,40	4,80	10,40	3,49	2,32	32,80	61,39	0,81	2,58	1,42
116/V	45,00	1,05	58,50	11,70	4,70	9,80	3,45	2,31	34,71	59,53	0,76	2,53	0,21
116/VI	46,10	1,11	57,00	9,90	4,90	10,00	4,20	3,33	40,79	51,68	0,62	2,58	0,90