zukzezexpress

BUKU AJAR

BIOMETRIKA HUTAN

Prof. Dr. Ir. H. Udiansyah, MS.
Dr. Ir. Mufidah Asy'ari, M.P.
Dr. Drs.Suyanto, M.P.
Syam'ani, S. Hut, M.Si.
Dr. Ir. Trisnu Satriadi, S.Hut., M.Si.

BUKU AJAR

BIOMETRIKA HUTAN

Prof. Dr. Ir. H. Udiansyah, MS
Dr. Ir. Mufidah Asy'ari, M.P.
Dr. Drs.Suyanto, M.P.
Syam'ani, S. Hut, M.Si.
Dr. Ir. Trisnu Satriadi, S.Hut., M.Si.

Zukzezexpress

BIOMETRIKA HUTAN

Oleh : **Prof. Dr. Ir. H. Udiansyah, MS.**
Dr. Ir. Mufidah Asy'ari, M.P.
Dr. Drs. Suyanto, M.P.
Syam'ani, S. Hut, M.Si.
Dr. Ir. Trisnu Satriadi, S.Hut., M.Si.

CV. Zukzez Express
Jl. Karang Anyar 2
Komplek Pondok Papan Sejahtera
Blok A No. 28 RT. 49 RW. 08
Kel. Loktabat Utara, Banjarbaru
Kalimantan Selatan

Proofreader : Dzoel
Tata Letak : Tim Zukzez
Desain Sampul : Manshuri Yusuf

Diterbitkan oleh :
Penerbit Zukzez Express
Anggota IKAPI Pusat
Banjarbaru, 2023

Cetakan I : Juli 2023

ISBN : 978-623-274-449-3

Prakata

Alhamdulillah dengan izin dan gerak Nya pelaksanaan kegiatan penyusunan buku ajar untuk mata kuliah *Biometrika Hutan* dapat diselesaikan sesuai rencana. Hasil yang diperoleh berupa buku ajar berjudul “Biometrika Hutan” yang ditunjang dengan penuntun praktik lapangan. Buku bahan ajar ini salah satu sebagai pelengkap dalam proses pembelajaran dari Program Studi Kehutanan yang dilengkapi dengan Rencana Pembelajaran Semester (RPS).

Tidak lupa pula kami ucapkan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada pihak-pihak yang banyak membantu dalam penyusunan buku ini, yaitu :

1. Rektor Universitas Lambung Mangkurat,
2. Dekan dan Wakil Dekan Fakultas Kehutanan Universitas Lambung Mangkurat,
3. Dosen Pengampu Mata Kuliah Biometrika Hutan serta Dosen bidang Perencanaan Hutan,
4. Khusus Kepada Senior Kami Bapak Ir. Abdul Aziz Karim, MP atas bimbingan dan arahan dalam pengembangan ilmu pengetahuan tentang Biometrika Hutan khususnya dalam pengukuran pohon,

5. Terimakasih kepada Seluruh Asisten Perencanaan dan Biometri Hutan yang selama ini telah membantu dalam pelaksanaan kegiatan praktek, baik praktek mata kuliah maupun praktek kerja lapang.

Demikian Buku Ajar ini kami susun semoga bermanfaat dalam proses pembelajaran. Terima kasih.

Banjarbaru, September 2022

Tim Penyusun,

Daftar Isi

Daftar Gambar

Daftar Tabel

BAB 1

PENDAHULUAN

A. Pengertian

1. Batasan

Biometrika hutan merupakan mata kuliah bidang ilmu kehutanan yang berfokus kepada pengukuran parameter-parameter makhluk hidup di dalam hutan. Istilah lain dari biometrika hutan adalah ilmu ukur hutan atau forest mensuration. Di dalam implementasinya, biometrika hutan mencakup, evaluasi atas dasar-dasar utama hukum alam dan metode statistik matematika yang penting bagi kehutanan. Sehingga di dalam mempelajari biometrika hutan, diperlukan dasar-dasar yang kuat dalam hal ilmu matematika, statistika, dan ilmu-ilmu pengukuran. Biometrika hutan mengukur semua atribut biologis yang dapat dikuantitatifkan dalam kehutanan, baik temporal maupun spasial. Parameter-parameter yang diukur meliputi parameter-parameter pohon secara individual, seperti diameter, tinggi, volume pohon berdiri, volume log, biomassa, dan sebagainya.

Pengukuran pohon merupakan suatu ilmu yang mempelajari tentang dimensi (ukuran) kayu dan non kayu. Dimensi kayu dimaksud sejak pertumbuhan pohon sampai pada hasil berupa sortimen (logs, balokan, papan). Adapun dimensi non kayu untuk ukuran hasil hutan yang bukan berupa kayu.

Dimensi yang dipelajari untuk kayu berdiri atau rebah (logs), terdiri dari diameter batang, tinggi pohon (panjang batang). Volume pohon atau logs merupakan ukuran hasil perhitungan yang didasarkan pada diameter dan tinggi (panjang) tersebut. Sedangkan untuk volume balokan atau papan diperoleh dari hasil perhitungan panjang, lebar dan tebal.

Batasan-batasan tentang kayu berdiri, kayu rebah, pertumbuhan kayu dan hasil hutan bukan kayu sebagai berikut :

a. Kayu berdiri adalah pohon atau suatu tegakan yang belum ditebang,

b. Kayu rebah adalah pohon atau suatu tegakan yang sudah ditebang, termasuk sortimen-sortimen hasil olahannya seperti kayu bulat atau kayu dolok (*logs*), kayu gergajian (*saw logs* atau *timber*) dan kayu bakar (*fuel wood*),

c. Pertumbuhan kayu adalah pertambahan tumbuh dimensi pohon atau tegakan dalam jangka waktu tertentu,

d. Hasil bukan kayu antara lain berupa kulit kayu, getah dan arang.

2. Pengukuran

Prinsip – prinsip dalam pengukuran antara lain:

a. Skala Pengukuran: Skala nominal, skala ordinal, skala interval, dan skala rasio.

b. Besaran dan Satuan:

1) Besaran: panjang, luas, volume, massa, waktu

2) Satuan: centimeter, meter, m2, m3, gram, kilogram, cm/tahun

c. Variabel/Parameter Pengukuran: Diameter setinggi dada (DBH), luas bidang dasar (LBDs), tinggi bebas cabang, volume batang, Above Ground Biomass (AGB), persentasi penutupan tajuk, dan sebagainya.

d. Akurasi dan ketelitian:

1) Akurasi: Kebenaran atau ketepatan pengukuran

2) Ketelitian: Konsistensi antar nilai dalam data

e. Bias/Kesalahan: Kemungkinan-kemungkinan kesalahan dalam pengukuran dan bagaimana cara mengatasi atau mengurangi kesalahan-kesalahan tersebut.

Dimensi kayu berdiri seperti diameter dan tinggi umumnya ditentukan secara langsung (*direct measurement*) dengan bantuan alat ukur tertentu. Sedangkan untuk kayu rebah, disamping diameter (lebar atau tebal) dan panjang termasuk pula volume dapat ditentukan secara langsung.

Penentuan dimensi kayu sering dilakukan secara penaksiran (*estimate*) yaitu dengan pengambilan contoh (*sample*) dari suatu populasi berupa *purposive sampling*, *double sampling* atau lainnya.

Peramalan (prediction) merupakan cara pengukuran tak langsung berdasarkan kasat mata tanpa bantuan alat ukur. Hasil ukurannya sangat kasar sehingga menyebabkan kesalahan (bias).

B. Ruang Lingkup dan Kegunaan

Sesuai dengan pengertian (definisi) pengukuran pohon, maka yang menjadi sasaran pokok adalah dimensi kayu (pohon/tegakan) dan hasil hutan bukan kayu. Sebagai ilmu dalam mengukur kayu, maka cara-cara pengukuran dan perhitungannya menerapkan teori-teori dasar ilmu-ilmu ukur (ukur datar, ukur sudut dan ukur ruang), disamping ilmu-ilmu lainnya seperti teknik pengambilan contoh (*sampling technique*) dalam pelaksanaan lapangannya.

Peranan Biometrika Hutan dalam kegiatan-kegiatan pengukuran pohon/tegakan yaitu :

1. Mempelajari ukuran pohon masih (tegakan) berdiri dalam kegiatan inventarisasi untuk mengetahui potensi hutan yang akan dihasilkan dari suatu areal hutan.
2. Mempelajari pertumbuhan pohon untuk jangka waktu tertentu dalam kegiatan pengaturan, penataan dan pemeliharaan hutan. Misal penentuan umur tebang, rotasi tebangan dan penentuan waktu penjarangan pada hutan tanaman.
3. Mempelajari ukuran kayu berupa sortimen logs dalam kegiatan pengukuran dan pengujian kayu.
4. Mempelajari ukuran kayu berupa sortimen (logs, balokan, papan) dalam kegiatan pemungutan hasil hutan (eksploitasi/pemanenan) yang dihasilkan pada suatu blok tebangan atau suatu areal hutan.
5. Mempelajari ukuran hasil hutan yang bukan kayu (getah arang, kayu bakar) yang memberikan manfaat pada perekonomian kehutanan.

C. Satuan Ukuran

1. Sistem Satuan

Sejak awal peradaban manusia sudah dikenal cara-cara pengukuran. Awalnya sistem pengukuran menggunakan bagian dari tubuh manusia. Bagian tubuh atau gerakan tubuh manusia yang masih digunakan hinggga kini (Indonesia) antara lain ukuran-ukuran jengkal jari (antara ibu-jari dengan jari tengah atau kelingking), depa (tangan), langkah (kaki). Penggunaan bagian tubuh sebagai alat ukur berbeda-beda untuk setiap manusia, bahkan antara bangsa. Satu bahu yaitu jarak antara jari tengah (tangan kiri misalnya) hingga ke bahu kanan indentik dengan satu meter, tidak sama untuk setiap manusia. Antar bangsa misalnya, satu depa di Indonesia setara dengan satu *feet* di Inggeris. Adanya perbedaan-perbedaan ini dan sejalan dengan perkembangan perdagangan dan industri diperoleh suatu kesepakatan suatu sistem satuan ukuran.

Sistem pengukuran secara garis besar dikenal tiga macam yaitu sistem British (kerajaan Inggeris), sistem metrik dan sistem pelengkap. Sistem pelengkap ini melengkapi kekurangan pada kedua sistem sebelumnya. Misal ERG untuk meyatakan kerja atau enersi, dyne untuk menyatakan kekuatan. Untuk menyatakan volume misalnya 1 gallon = 231 cubic inches (Amerika) = 277,274 cubic inches (Inggris). Namun akhirnya sistem pengukuran yang disepakati hingga sekarang terdiri dua sistem yaitu sistem Bristish dan sistem metrik.

a. Sistem Kerajaan Inggris (*British Imperial System*)

Sistem ini awalnya dikembangkan oleh kerajaan Inggris. Dasar satuan sistem ini adalah :

1) Untuk ukuran panjang dinyatakan dalam satuan yard. Panjang standar 1 yard didasarkan pada mistar dari Brins (Bronzebar) dengan suhu 60^0 Farenheit. Mistar ini disampan di Standard Office (London). Untuk ukuran foot (feet) ditetapkan sama dengan ⅓ yard dan sama dengan 12 inches. Untuk ukuran panjang dinyatakan dalam satuan yard. Satuan yard Inggris disamakan dengan $\frac{3600}{3937{,}0113}$ meter. Ukuran yard ini oleh Amerika disederhanakan menjadi $\frac{3600}{3937}$ meter.

2) Untuk ukuran berat (massa) dinyatakan dalam satuan pound. Standar pound dinyatakan samadengan massa silinder platina iridium dan disimpan di Standard Office (London). Satu pound di Amerika disamakan dengan $\frac{1}{2{,}20462234}$ kilogram.

3) Untuk ukuran waktu dinyatakan dalam detik (second). Waktu standar 1 detik ditetapkan $\frac{1}{31.556.925{,}9747}$ dari waktu bumi mengelilingi marahari pada tahun standar 1900.

Berdasarkan perhitungan ini maka satu tahun disamakan dengan 31.556.925,9747 detik. Bila dinyatakan sekarang periode bumi mengelilingi matahari selama 1 tahun adalah 365,25 hari, maka berarti 365,25 x 24 x 60 x 60 detik samadengan 31.557.600 detik.

b. Sistem Metrik (Metric System)

Sistem ini awalnya dikembangkan oleh negara Perancis dan dianut sebagian negara-negara Eropa. Negara Indonesia menganut sistem ini akibat dari penjajahan Belanda. Dasar satuan ini adalah :

1) Untuk ukuran panjang dinyatakan dalam satuan meter. Satu meter disamakan dengan panjang standar mistar dari irinium yang dikenal sebagai dengan *International Phototype Meter* yang disimpan di International Bereau of Weight and Measures di Serves (Perancis).

2) Untuk ukuran berat dinyatakan dalam satuan kilogram dan ditetapkan samadengan berat sepotong platina iridium yang disimpan di Serves (Perancis).

3) Untuk ukuran waktu dinyatakan dalam detik (second).

2. Konversi Satuan

Karena sistem satuan yang dianut setiap negara tidak selalu sama, apalagi mengingat pasar dunia lebih banyak menggunakan sistem British maka diperlukan alat yang mampu mengubah satuan yang telah ada ke sistem yang lain. Alat ini dikenal dengan *konversi* atau konversi satuan. Indonesia misalnya menganut sistem satuan ukuran metrik perlu mengkonversi (mengubah) sistem satuan Bristish atau lainnya ke dalam sistem satuan metrik. Perubahan (konversi) ukuran satuan yang erat dengan Ilmu Ukur Kayu disajikan pada Tabel Lampiran 1.1.

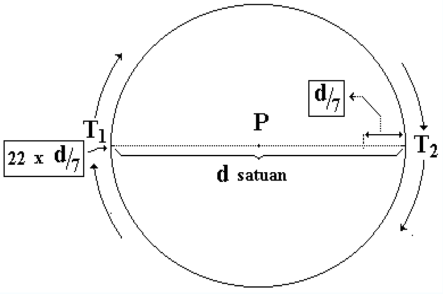
BAB 2

DIAMETER BATANG

A. Rumusan Dasar Diameter

Pengertian diameter adalah garis maya yang mengubungkan dua titik di tepi lingkaran (busur lingkaran) dan melewati sumbu lingkaran. Sejalan dengan pengertian tersebut, maka diameter batang merupakan garis lurus maya yang menghubungkan dua titik di tepi batang (busur batang) dan melalui sumbu batang.

Diameter batang pohon diasumsikan sebagai *lingkaran* dengan dasar suatu titik bergerak mengelilingi titik pusat dengan jarak yang sama. Lingkaran mempunyai kekhasan dimana untuk ukuran yang berbeda mempunyai bentuk yang sama. Untuk lebih jelasnya disajikan Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Tetapan 22/7.

Keterangan :

P = pusat lingkaran

T_1 = titik awal bergerak

T_2 = titik setengah busur lingkaran

T_1T_2 = jarak sejauh d satuan

Berdasarkan Gambar 2.1 memperlihatkan kekhasan tersebut yaitu bila suatu titik (T_1) mengelilingi titik pusat P dengan jarak yang sama sampai titik yang terjauh sebesar d satuan (T_2) dan akan kembali ke titik awal setelah menempuh jarak sejauh 22 kali dari $^{d}/_{7}$ satuan (panjang busur). Setelah dihitung ulang ternyata nilai d sebesar 7 satuan. Berarti suatu titik mengelilingi titik pusat dengan jarak yang sama adalah sebesar 22 x $^{d}/_{7}$. Atau dengan kata lain bahwa keliling = $22.\ ^{d}/_{7}$. Nilai $^{22}/_{7}$ disederhanakan dengan lambang π (dibaca phi). Rumusan keliling suatu lingkaran (K) adalah : K = π . D dimana d dinyatakan sebagai diameter dan π dinyatakan sebagai nilai tetapan lingkaran. Atau D = K/ π. Karena titik awal (T_1) dan titik terjauh (T_2) ke titik pusat P berjarak sama dan dinyatakan sebesar r, maka K = π.2.r. atau D = 2.r

Mengingat rumus dasar luas lingkaran adalah $\pi.r^2$, sedangkan dalam penentuan bidang dasar (luas bidang dasar = B) batang yang diukur diameter atau kelilingnya, maka rumusannya menjadi :

- ❖ Bila yang diukur diameter; $B = \pi\ .\ (D/2)^2 = \pi\ .\ ¼\ .\ D^2$
- ❖ Bila yang diukur keliling; $B = \pi\ .\ (K/\ \pi\ 2)^2 = {}^{1}/_{4}\pi\ .\ K^2$

B. Ketentuan Pengukuran

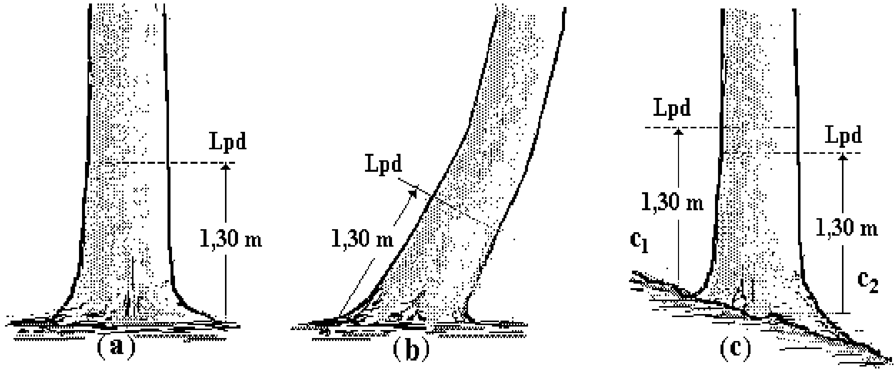
1. Letak pengukuran

Letak pengukuran diameter batang pohon masih berdiri didasarkan pada batas di mana perubahan bentuk batang akibat perkembangan akar dari pangkal batang ke arah atas (bentuk neiloid) tidak begitu drastis (perubahan bentuk terkecil) dan bentuk batang diasumsikan sudah berupa silinder atau tabung. Batas tersebut untuk setiap pohon berbeda-beda. Karena perbedaan tinggi tersebut lebih kurang setinggi dada dari permukaan tanah, maka dengan dasar kesepakatan ilmiah ditetapkan bahwa letak pengukuran diameter dilakukan setinggi dada dari permukaan tanah. Setinggi dada setiap bangsa (negara) berbeda-beda bahkan untuk setiap individu manusia. Akibatnya diperoleh ukuran setinggi dada tiap bangsa (negara) yang merupakan rata-rata setinggi dada bangsa itu sendiri. Untuk bangsa Indonesia ditetapkan setinggi 1,30 meter dari permukaan tanah. Bila ada banir dan tinggi banir lebih dari 130 cm, maka letak pengukuran diameter 20 cm di atas banir. Penambahan 20 cm diperkirakan pengaruh lekukan setelah batas ujung banir sudah tidak ada lagi terhadap kelurusan serat dalam kayu.

Aplikasi letak pengukuran diameter (Lpd) di lapangan dengan ketentuan sebagai berikut :

a. Pohon berdiri dan kondisi lapangan

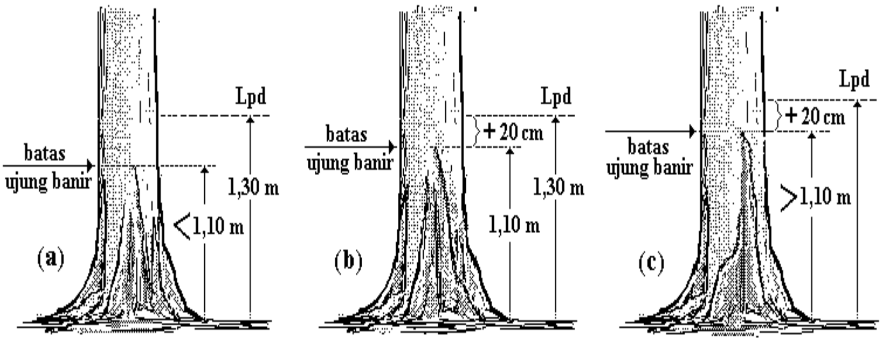
Pohon berdiri mengandung pengertian bahwa pohon berdiri tegak (tegak lurus dengan bidang datar) dan pohon berdiri miring. Letak pengukuran diameter untuk kedua pengertian tersebut dan pohon berdiri di lapangan yang miring disajikan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Letak pengukuran diameter pohon berdiri pada kondisi lapangan.

b. Pohon berbanir

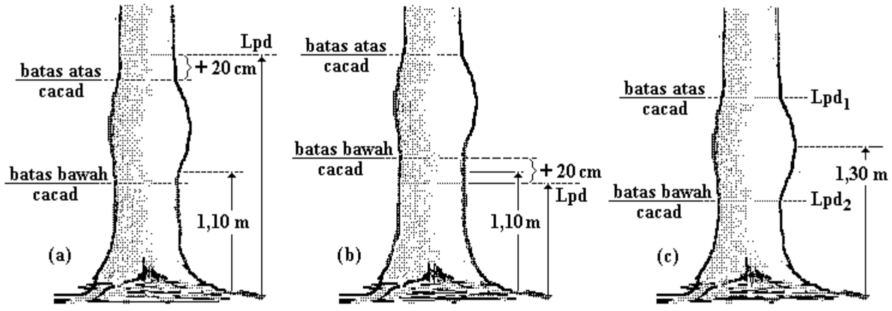
Pengertian pohon berbanir dimana bagian pangkal batang mengalami perubahan bentuk (neiloid) akibat pertumbuhan akar. Ketentuan letak pengukuran diameter pada pohon berbanir disajikan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Letak pengukuran diameter pada pohon berbanir.

c. Penyimpangan bentuk batang (batang cacad)

Penyimpangan bentuk batang dimaksud biasanya permukaan batang membengkak akibat adanya benturan yang cukup keras pada bagian batang tersebut atau akibat serangan hama. Ketentuan letak pengukuran diameter pada batang yang cacad disajikan pada Gambar 2.4.

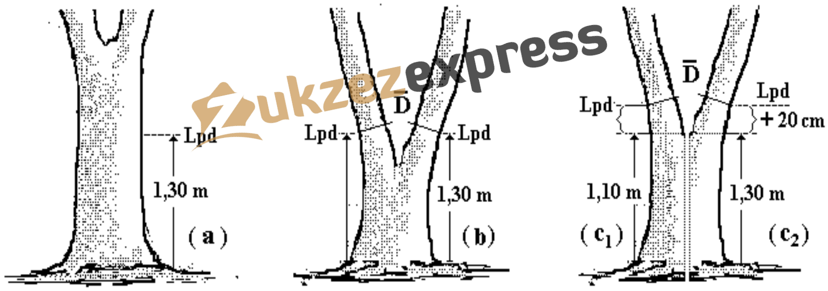


Gambar 2.4 Letak pengukuran diameter pada batang pohon yang cacad.

Berdasarkan Gambar 2.4c memperlihatkan letak pengukuran diameter dilakukan dua tempat maka diameternya merupakan diameter rataan.

d. Batang bercagak atau menggarpu

Letak pengukuran diameter pada pohon bercagak atau menggarpu dengan memperhatikan ketinggian lekukan. Pengertian cagak atau garpu sebenarnya adalah cabang (dahan) besar dari batang utama dimana salah satunya sukar dibedakan sebagai batang utama atau sebagai cabamg. Bila cabang tersebut hanya satu buah dinyatakan sebagai bercagak dan bila dua buah atau lebih dinyatakan sebagai menggarpu. Diameternya merupakan diameter rataan dari cagak yang diukur atau banyaknya garpu yang terbentuk. Letak pengukuran diameter untuk pohon menggerpu sama seperti pada pohon bercagak seperti disajikan pada Gambar 2.5.

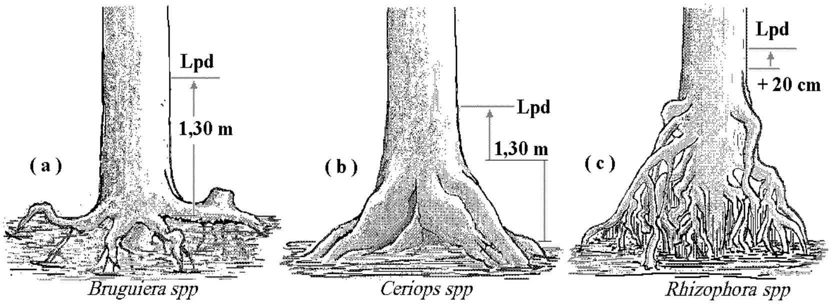


Gambar 2.5 Letak pengukuran diameter pada batang bercagak atau menggarpu.

Berdasarkan Gambar 2.5c memperlihatkan letak pengukuran diameter 20 cm di atas lekukan bila lekukan cagak atau garpu setinggi 1,10 m (Gambar 2-5c_1) atau setinggi 1,30 m (Gambar 2-5c_2).

e. Pohon lahan basah (rawa atau payau)

Letak pengukuran diameter pohon di lahan basah pada dasarnya sama seperti untuk pohon-pohon di lahan kering, namun diperlukan penyesauaian mengingat kondisi lahannya berbeda. Umumnya perakaran berada di atas permukaan tanah, sehingga bagian pangkal batangnya dijadikan sebagai pengganti batas bidang datar. Untuk jenis pohon yang berbanir, letak pengukuran diameternya seperti pada jenis pohon di lahan kering. Khusus jenis pohon berakar penyangga (tongkat), letak pengukuran diameter dilakukan 20 cm di atas ujung akar paling atas. Ilustrasi letak pengukurannya disajikan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Letak pengukuran diameter pada lokasi lahan basah.

2. Kecermatan pengukuran

Pengukuran dengan alat yang sifatnya langsung melilit batang (pita keliling, phi ban) biasanya dilakukan sebanyak satu kali, tetapi untuk alat ukur lainnya perlu dilakukan minimal dua kali. Ini disebabkan penampang lintang batang tidak sepenuhnya berupa lingkaran. Disamping itu yang perlu diperhatikan adalah kesungguhan dalam mengukur diameter atau keliling, terutama untuk batang pohon yang berukuran kecil. Karena selisih 1 cm dari hasil pengukuran batang berdiameter kecil akan menyebabkan perbedaan volume yang cukup besar dibanding dengan batang berdiameter besar.

Katakan batang pohon berdiameter kecil (20 dan 21 cm) dan berdiameter besar (50 dan 51 cm) yang masing-masing mempunyai tinggi atau panjang sama yaitu 5 meter. Berdasarkan rumusan volume $^{\pi}/_{4} \cdot D^{2} \cdot T$ diperoleh hasil tersebut adalah:

a. Diameter kecil (20 dan 21 cm) :

$V_{20} = {}^{\pi}/4 \text{ x } 0{,}0400 \text{ x } 5 \text{ m}^3 = 0{,}2000 \text{ m}^3$

$V_{21} = {}^{\pi}/4 \text{ x } 0{,}0441 \text{ x } 5 \text{ m}^3 = 0{,}2205 \text{ m}^3$

b. Diameter besar (50 dan 51 cm) :

$V_{50} = {}^{\pi}/4 \text{ x } 0{,}2500 \text{ x } 5 \text{ m}^3 = 1{,}2500 \text{ m}^3$

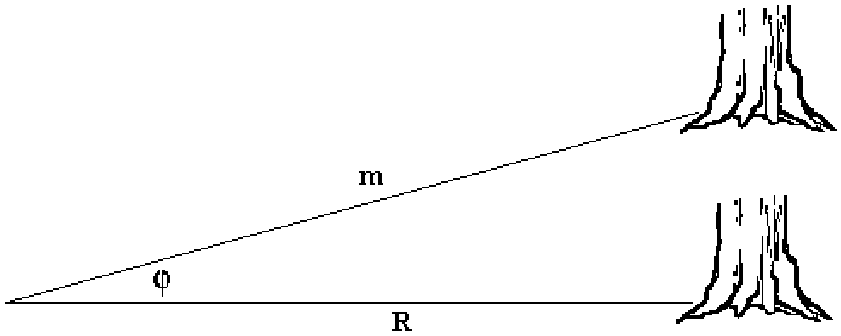
$V_{51} = {}^{\pi}/4 \text{ x } 0{,}2601 \text{ x } 5 \text{ m}^3 = 1{,}3005 \text{ m}^3$

Batang berdiameter kecil dengan selisih 1 cm menyebabkan perbedaan volume sebesar 0,0205 m^3 atau 10,25%. Sedangkan untuk batang berdiameter besar dengan selisih 1 cm menyebabkan perbedaan 0,0505 m^3 atau 4,04%.

3. Koreksi jarak lapangan

Pengukuran diameter yang bersifat tak langsung selalu menginginkan jarak antara si pengukur dan pohon dalam kondisi datar. Kenyataan di lapangan sebagian besar keinginan tersebut sukar dipenuhi, sehingga jarak yang diperoleh merupakan jarak lapangan atau jarak ukur (miring) yang menyebabkan jarak pandang akan lebih jauh dibanding bila pada kondisi datar. Bila sudut yang dibentuk (kelerengan) lebih kecil dari 10% menyebabkan perbedaan jarak pandang kurang dari 0,5%. Ini berarti koreksi jarak cukup kecil sehingga dapat diabaikan dan pada kondisi demikian dianggap datar.

Bentuk koreksi jarak tergantung satuan sudut yang digunakan pada alat ukur. Alat-alat ukur seperti Suunto Clinometer, Abney level dan Spiegel Relaskop mempunyai dua ukuran satuan sudut yaitu derajat dan persen. Untuk alat ukur Haga hanya mempunyai satuan sudut dalam persen (%). Gambar 2.7 berikut mengilustrasikan sudut yang dibentuk pada kondisi lapangan yang tidak datar.



Gambar 2.7 Ilustrasi koreksi jarak lapangan

Bila jarak antara si pengukur terhadap pohon pada kondsi datar, maka sudut φ bernilai nol. Bila tidak nol berarti jarak antara si pengukur dan pohon (m) membentuk sudut terhadap bidang datar. Agar jarak m (jarak lapangan) dapat diubah ke dalam jarak datar (R), maka jarak m perlu dikoreksi sebesar K_m. Koreksi jarak lapangan (K_m) dapat diperoleh dengan rumusan tersebut adalah::

$R = m \cdot K_m$; dimana $K_m = {}^R/_m$

Bila nilai φ merupakan satuan derajat (α), maka :

$K_m = {}^R/_m = \cos \alpha$; $m = {}^R/_{\cos \alpha}$; $R = m \cos \alpha$

Bila nilai φ merupakan satuan persen (p), maka :

$K_m = {}^R/_m = \cos \alpha$; $p = {}^{100.\alpha}/_{45}$; $\alpha = 0{,}45\ p$; $R = m \cos (0{,}45\ p)$

Bentuk koreksi tersebut sebenarnya berdasarkan rumusan cosinus dalam segitiga siku. Contoh perhitungannya diperoleh dengan rumusan tersebut adalah:

a. Katakan sudut bidik sebesar 10^0 dengan jarak ukur sejauh 12 meter. Jarak datarnya adalah R = 12 m . cos (10) = 11,82 meter.

b. Pembidikan sejauh 12 meter (jarak lapangan) dengan sudut bidik sebesar 22,2%. Jarak datarnya adalah R = 12 m . cos (0,45 . 22,2) = 11,82 meter.

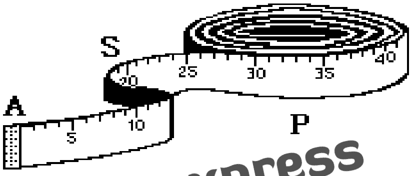
Untuk memudahkan kerja di lapangan pada Tabel Lampiran 2-1 dan 2-2 disajikan besran sudut φ dalam satuan derajat (α) dan satuan persen (p) dengan perhitungan cosinus masing-masing sudut.

C. Peralatan Ukur Diameter

Pengukuran diameter terbagi dua cara yaitu pengukuran cara langsung dan tidak langsung. Langsung tidaknya cara pengukuran tergantung saat pengukuran dilakukan.

1. Pita keliling atau phi ban

a. Bentuk alat



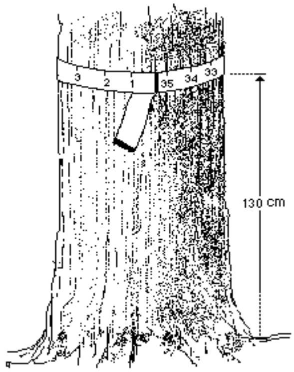
Gambar 2.8 Pita ukur keliling atau diameter.

Keterangan :
A = ujung pita (titik nol)
P = pita dari bahan berupa kain atau logam lentur
S = skala dalam satuan cm

b. Dasar kerja

Bila pita yang digunakan untuk mengukur panjang, maka hasil lilitan pita pada batang akan menghasilkan keliling dan rumusanya $k = \pi.d$. Untuk memperoleh ukuran diameter maka dilakukan konversi sehingga menjadi $d = {}^{k}/_{\pi}$. Tetapi bila pita yang digunakan berupa phi ban, maka hasilnya ukuran diameter (d), berarti ukuran yang ditunjukkan pada pita adalah skala diameter.

c. Cara pemakaian



Gambar 2.9 Cara pengukuran keliling atau diameter.

Langkah-langkah pemakaian alat (Gambar 2.9) adalah :

1) Lilitkan pita pada batang setinggi 1,30 meter dari permukaan tanah dan pastikan kedudukan sisi pita sejajar dengan bidang datar,

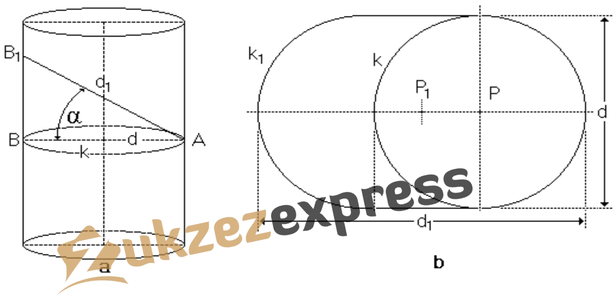
2) Baca skala pada pita dan nilai skala tersebut menunjukkan keliling batang (k) bila menggunakan pita ukur (keliling) atau diperoleh diameter batang (d) bila menggunakan phi ban.

3) Cara penggunaan alat ukur diameter di lapangan dapat dilihat pada Gambar 2.10.

Gambar 2.10 Cara penggunaan pita ukur di lapangan

d. Kesalahan ukur

Lingkar batang tidak pernah berupa lingkaran penuh. Sehingga kesalahan utama pada pengukuran keliling atau diameter karena lingkar batang tidak berupa lingkaran penuh. Kesalahan lain bila kedudukan alat ukur tidak sejajar dengan bidang datar, sehingga tidak membentuk lingkaran tetapi akan membentuk elips. Bila alat ukur berupa pita keliling maka rumusan keliling ($k = \pi d$) akan menjadi $k_1 = ½ \pi (d_1 + d)$. Berarti bila $d_1 > d$ akan menyebabkan $k_1 > k$. Ini juga berarti kesalahan ukur sebesar $E_k = k_1 - k$. Untuk memperjelas kesalahan ukur keliling diuraikan pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Kesalahan ukur keliling dengan pita ukur.

Rumusan kesalahan pengukuran keliling adalah

$$E_k = k_1 - k$$
$$= ½ \pi (d_1 + d) - \pi d$$
$$= ½ \pi (d_1 - d)$$

$$\text{karena } \cos \alpha = \frac{d}{d_1}$$

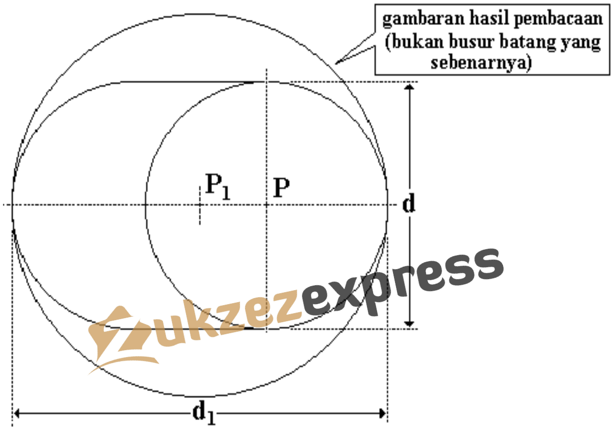
$$d = d_1 \cos \alpha \text{, maka}$$
$$E_k = ½ \pi d_1 (1 - \cos \alpha)$$

Bila dari hasil pengukuran diperoleh langsung diameternya, maka kesalahan pengukuran diameter diperoleh dengan rumusan tersebut adalah:

$E_d = d_1 - d$

karena $\cos\alpha = \dfrac{d}{d_1}$ atau $d = d_1 \cos\alpha$, maka $E_d = d_1 (1 - \cos\alpha)$.

Bila semakin besar sudut Bila semakin besar sudut α menyebabkan nilai cos α semakin kecil atau makin besar nilai 1/(cos α) menyebabkan kesalahan semakin besar. Ilustrasi bentuk kesalahannya disajikan pada Gambar 2.12.

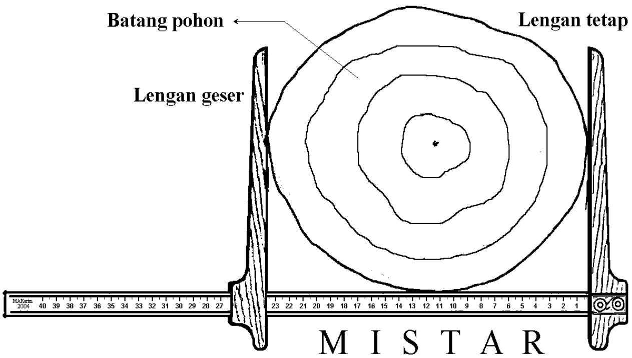


Gambar 2.12. Kesalahan ukur diameter dengan phi ban.

2. Apit Pohon

a. Bentuk alat

Apit pohon atau *caliper* pohon dapat digunakan untuk mengukur kayu berdiri dan kayu rebah. Alat ukur ini berupa mister yang berskala dalam cm atau inci dengan dua lengan untuk mengampit batang pohon. Bentuk alat ukur kaliper seperti Gambar 2.13.



Gambar 2.13. Cara pengukuran dengan Apit Pohon.

b. Dasar kerja

Karena lengan geser dapat digeser-geser pada mistar yang berskala, maka lengan geser akan langsung menunjukkan besaran diameter batang yang diukur dengan membaca skala pada mistar.

c. Cara pemakaian

Langkah-langkah pelaksanaannya :

a) Pengukuran dilakukan dua kali. Pengukuran pertama menentukan diameter terpendek dan pengukuran kedua dilakukan tegak lurus dari diameter terpendek.

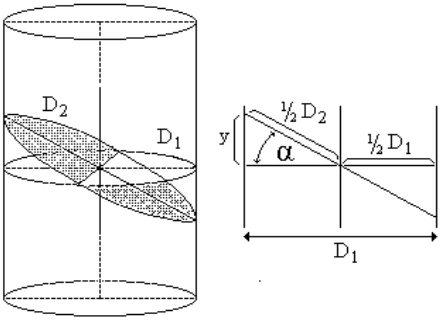
b) Impitkan mistar pada batang pohon dengan kedua lengannya mengapit batang di sisi yang lain

c) Perhatikan posisi kedua lengan apakah sudah sama tinggi dari permukaan tanah (kedudukan horizontal sejajar dengan bidang datar).

d) Diameter yang diperoleh merupakan hasil rataan dari diameter terpendek dan diameter yang tegak lurus dengan diameter terpendek.

d. Kesalahan ukur

Kesalahan ukur terjadi akibat kemiringan alat sehingga kedua lengan yang mengapit batang pohon tidak sama tinggi atau tidak sejajar dengan bidang datar. Kesalahan yang dibentuk lingkaran batang akan membentuk elips. Besar kesalahan yang diperoleh sebesar $E_d = D_2 - D_1$ dan diilustrasikan seperti Gambar 2.14.



Gambar 2.14. Kesalahan ukur diameter dengan Apit Pohon.

Keterangan :

D_1 = diameter pada pengukuran yang benar
D_2 = diameter pada pengukuran yang salah
α = besaran sudut kesalahan
y = jarak kesalahan

Bila diketahui kesalahan ukur untuk sudut dan jarak, maka:

a) sudut yang dibentuk sebesar α

$$\cos \alpha = \frac{\frac{1}{2}D_1}{\frac{1}{2}D_2} = \frac{D_1}{D_2}$$

$$D_1 = D_2 \cdot \cos \alpha$$

Sehingga besar kesalahan bila diketahui kesalahan sudut sebesar α adalah

$$E_d = D_2\,(1 - \cos \alpha)$$

b) jarak yang dibentuk sepanjang y

$$(\tfrac{1}{2} D_2)^2 = y^2 + (\tfrac{1}{2} D_1)^2$$

$$(\tfrac{1}{2} D_1)^2 = (\tfrac{1}{2} D_2)^2 - y^2$$

$$D_1 = \sqrt{(D_2^{\,2} - 4\,y^2)}$$

Besar kesalahan ukur bila diketahui kesalahan jarak sepanjang y adalah

$E_j = D_2 - \sqrt{(D_2{}^2 - 4\,y^2)}$

Bila diketahui persen kesalahan yang terjadi maka :

c) kesalahan sudut sebesar α

$$P_d = \frac{E_d}{D_1} \times 100\%$$

$$= \frac{D_2\,(1 - \cos\alpha)}{D_2 \,.\, \cos\alpha} \times 100\%$$

$$= \left(\frac{1}{\cos\alpha} - 1\right) \times 100\%$$

1) Kesalahan jarak sepanjang y

$$(\tfrac{1}{2}\,D_2)^2 = y^2 + (\tfrac{1}{2}\,D_1)^2$$

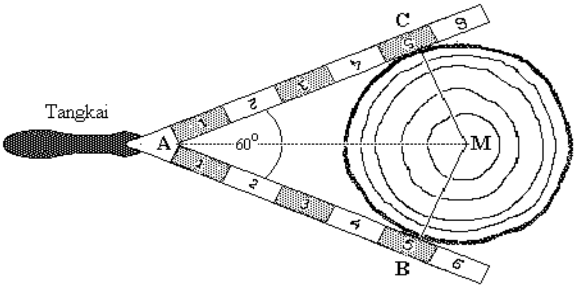
$$(\tfrac{1}{2}\,D_1)^2 = (\tfrac{1}{2}\,D_2)^2 - y^2$$

$$D_1 = \sqrt{(D_2{}^2 - 4\,y^2)}$$

3. Garpu Pohon

a. Bentuk alat

Garpu pohon atau *fork* merupakan alat yang berlengan dua yang membentuk sudut sebesar 60^0 dan pada kedua lengannya terdapat skala dengan selang 5 cm atau 10 cm. Alat ukur ini dibuat oleh Balai Penjelidikan Kehutanan (sekarang Lembaga Penelitian Hutan) pada tahun 1934 seperti disajikan pada Gambar 2.15.



Gambar 2.15. Garpu Pohon.

Keterangan :

$\angle$ BAC = $\alpha = 60^{o}$

B dan C = titik singgung pada

lingkar batang

BM = ½ d

Alat ini hanya dapat dipakai untuk batang pohon berdiameter kecil. Untuk pengukuran yang teliti, maka penggunaan alat ini tidak dianjurkan.

b. Dasar kerja

Memperhatikan Δ ABM bahwa BM $\perp$ AB dan ΔBAM = ½ $\alpha = 30^{O}$

$$\text{tg } \tfrac{1}{2}\alpha = \frac{BM}{AB} \quad \text{atau} \quad AB = \frac{BM}{\text{tg } \tfrac{1}{2}\alpha} = \frac{\tfrac{1}{2} d}{\text{tg } \tfrac{1}{2}\alpha} = \frac{d}{2 \text{ tg } \tfrac{1}{2}\alpha}$$

Karena $\alpha = 60^{o}$, maka AB = 0,866 d. Atas dasar rumusan ini dibuat ukuran skala titik B dan C pada kedua lengan yang langsung menunjukkan besaran diameter yang diukur. Cara pemberian ukuran skala dengan mengupamakan berbagai ukuran diameter sehingga diperoleh panjang AB yang sesuai dengan diameter tersebut. Selanjutnya ukuran diameter ditulis pada kedua lengan garpu sebagai skala.

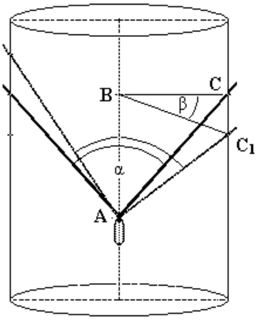
c. Cara pemakaian

Pemakaian alat ini dengan mengapitkan ke batang pohon. Karena skala alat telah dibuat sedemikian rupa, sehingga skala yang terbaca langsung menunjukkan besaran diameter yang diukur. Cara penggunaan alat ukur diameter di lapangan dapat dilihat pada Gambar 2.16.

Gambar 2.16. Cara Penggunaan alat garpu pohon di lapangan

d. Kesalahan ukur

Kesalahan ukur terjadi bila kedua lengannya tidak sama tinggi atau tidak sejajar dengan bidang datar. Ilustrasi kesalahan ukurnya disajikan pada Gambar 2.17.



Gambar 2.17. Kesalahan ukur diameter dengan Garpu Pohon.

Keterangan :

AC = kedudukn lengan yang benar

AC_1 = kedudukan lengan yang salah

Besar kesalahannya :

$E_d = AC_1 – AC.$

Memperhatikan segitiga CBC_1 diperoleh $\cos \beta = BC / BC_1$

Memperhatikan segitiga ABC diperoleh $\sin ½ \alpha = BC / AC$

$BC = AC . \sin ½ \alpha$

Memperhatikan segitiga ABC_1 diperoleh $\sin ½ \alpha = BC_1 / AC_1$

$BC_1 = AC_1 . \sin ½ \alpha$

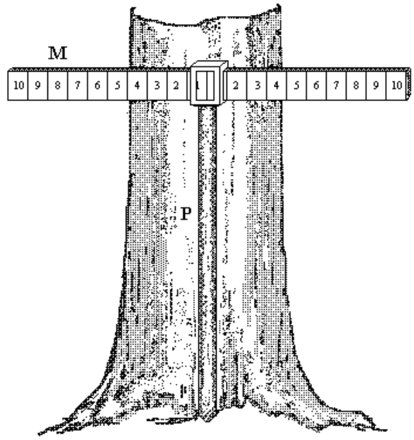
Sehingga $\cos \beta = AC / AC_1$ atau $AC = AC_1 . \cos \beta$

Maka besar kesalahan ukur diameter adalah $E_d = AC_1 – (1 – \cos \beta)$

4. Mistar Biltmore

a. Bentuk alat

Mistar Biltmore (*Biltmore Stick*) pada awalnya digunakan pada Sekolah Kehutanan di Biltmore (Amerika). Bentuk alat berupa penggaris sepanjang 75 cm (30 in) dengan selang kelas selebar 5 cm atau 10 cm. Dalam pemakaiannya diimpitkan pada batang dan jarak dengan pengukur sejauh 63 cm (25 in). Alat ini tidak dianjurkan untuk pengukuran yang teliti.



Gambar 2.18. Posisi Mistar Biltmore.pada batang pohon.

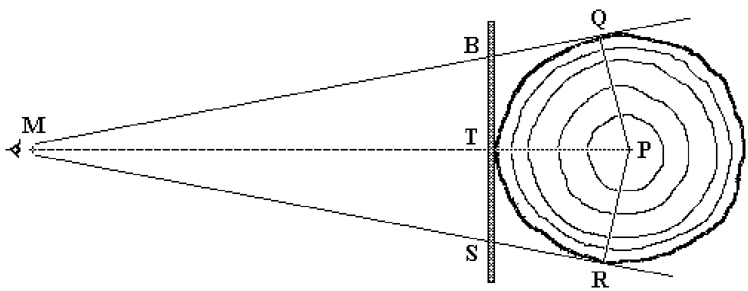
Keterangan :

M = mistar Biltmor

P = penyangga mistar

b. Dasar kerja

Memperhatikan segitiga MBT dan MPQ dimana masing-masing mempunyai sudut 90^{o} (sudut siku) yaitu sudut T dan sudut Q; dan juga mempunyai sudut lancip M yang saling berimpit. Maka berarti kedua segitiga tersebut sebanding. Jari-jari atau ½ d adalah juga QP = TP = RP.



Gambar 2.19. Dasar kerja Mistar Biltmore.

$$\Delta MBT \approx \Delta MPQ \text{ berarti } BT : PQ = MT : MP$$

$$\tfrac{1}{2} BS : \tfrac{1}{2} d = MT : MQ$$

$$BS : d = MT : MQ$$

$$BS = \frac{d \,.\, MT}{MQ}$$

Perhatikan dalam segitiga MPQ bahwa

$$MQ^2 = MP^2 - QP^2 = \;= (MT + TP)^2 - QP^2$$

$$= (MT + \tfrac{1}{2} d)^2 - (\tfrac{1}{2} d)^2 = (MT)^2 + MT.\,d + (\tfrac{1}{2} d)^2 - (\tfrac{1}{2} d)^2$$

$$= (MT)^2 + MT.\,d$$

$$\text{berarti } MQ = \sqrt{[\,(MT)^2 + MT.\,d\,]}$$

$$= MT \sqrt{(1 + \frac{d}{MT})}$$

$$\text{Mengingat bahwa } BS = \frac{d \,.\, MT}{MQ}\text{, maka}$$

$$BS = \frac{d \,.\, MT}{MT \sqrt{(1 + \frac{d}{MT})}} \text{ dan setelah disederhanakan diperoleh}$$

$$BS = d \sqrt{(\frac{MT}{MT + d})}$$

Berdasarkan rumus BS tersebut bahwa bila nilai MT (jarak si pengukur terhadap pohon) dan nilai d (diameter batang) tertentu, maka nilai BS dapat dicari (skala mistar). Nilai-nilai BS yang diperoleh dari berbagai ukuran diameter digunakan untuk membuat skala pada alat yang menunjukkan besaran diameter pohon yang diukur. Karena nilai MT mempengaruhi nilai BS (nilai skala mistar), maka skala mistar yang dibuat hanya berlaku untuk jarak tertentu saja. Akibatnya untuk berbagai macam jarak ukur (MT) diperlukan pula bermacam-macam mistar.

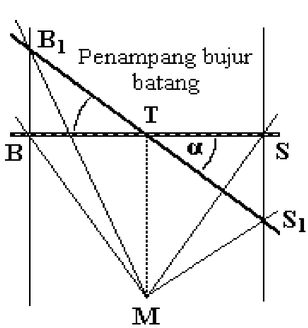
c. Cara pemakaian

Pemakaian alat dengan menggeser-geser ke kiri atau ke kanan hingga ujung yang satu (B) berimpit benar dengan garis singgung dari mata ke batang pohon yang diukur (MQ). Diameter dapat dibaca pada titik S dari mistar dengan garis singgung MR. Skala yang terbaca menunjukkan besaran diameter yang diukur. Cara penggunaan alat ukur diameter di lapangan dapat dilihat pada Gambar 2.19.

Gambar 2.20. Cara Penggunaan alat mistar bilmore di lapangan

d. Kesalahan ukur

Kesalahan yang terjadi bila kedudukan mistar miring (tidak sejajar dengan bidang datar). Besar kesalahan sebesar $E_d = B_1S_1 - BS$ dan diilustrasikan pada Gambar 2.18.



Gambar 2.21. Kesalahan ukur diameter dengan Mistar Biltmore.

Keterangan :

BS = kedudukan alat benar

B_1S_1 = kedudukan alat salah

α = sudut kemiringan alat

Kesalahan sudut diperoleh dari :

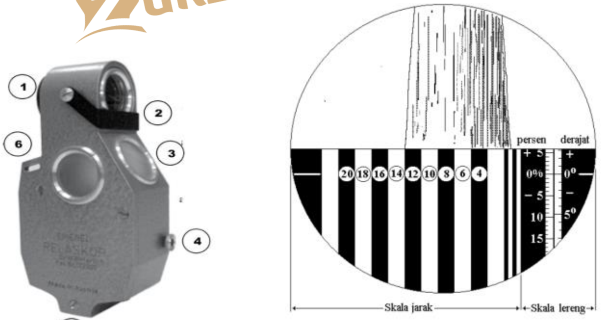
$$\cos\alpha = TB / TB_1 \; ; \; TB = TB_1 . \cos\alpha$$
$$\cos\alpha = TS / TS_1 \; ; \; TS = TS_1 . \cos\alpha$$

$$BS = TB + TS = TB_1 . \cos\alpha + TS_1 . \cos\alpha$$
$$= (TB_1 + TS_1) . \cos\alpha$$

$$E_d = B_1S_1 - BS = B_1S_1 - (TB_1 + TS_1) . \cos\alpha$$
$$= B_1S_1 - B_1TS_1 . \cos\alpha = B_1S_1 \, (1 - \cos\alpha)$$

5. Spiegel Relaskop

a. Bentuk Alat



(a) (b)

(sumber Kershaw *et. al.*, 2017)

Gambar 2.22. Spiegel Relaskop dengan celah pandang.

Keterangan :

1. Celah Pandang (pembidik)
2. Peneduh
3. Jendela

4. Tombol penghenti goyangan
5. Lubang tempat kaki-tiga (bagian bawah)
6. Tempat gantungan

Spiegel Relaskop merupakan alat optik berfungsi ganda, yaitu sebagai pengukur sudut dan juga berfungsi sebagai pengukur kelerengan. Bentuk Spiegel relaskop yang pernah diproduksi oleh Austria seperti pada Gambar 2-19a dan dalam celah pandang terlihat jalur-jalur tegak berwarna hitam putih seperti Gambar 2-19b. Jalur tersebut dinyatakan sebagai bar dan berjumlah 12 buah dengan ukuran lebar yang sama dan makin menyempit ke arah ujung atas atau bawah sebagai koreksi lereng secara otomtis untuk menyesuaikan dengan topografi. Jalur pertama terbagi 4 bagian yang sama lebar dan 1 bagian dinyatakan sebagai ¼ bar. Sisanya (11 bar berikutnya) dinyatakan sebagai bar penuh.

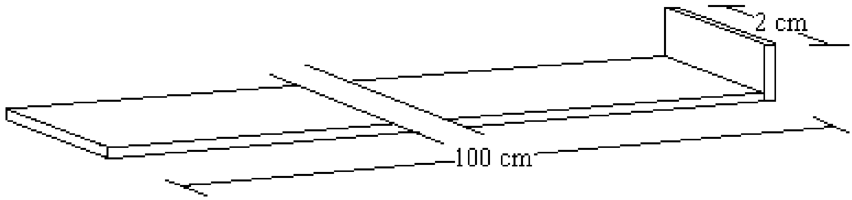
Alat ukur tersebut diciptakan oleh Bitterlich tahun 1950 yang merupakan perbaikan kelemahan dari alat pengukur sudut sederhana (tongkat Bitterlich dan pipa panama). Kelemahan kedua alat ukur sudut tersebut adalah bila pembuatannya kurang cermat dan saat menemukan pohon-pohon yang posisinya horizontal dengan titik contoh.

Khusus pada pengukuran diameter sangat membantu bila diameter yang diukur tidak terjangkau. Misalnya pohon berbanir tinggi menyebabkan pengukuran diameter tidak terjangkau, diameter sangat besar sehingga mengalami kesulitan dalam pengukurannya, diameter pada ketinggian tertentu misalnya diameter pada tinggi bebas cabang atau pengukuran cabang-cabang besar yang diperkirakan masih dapat dimanfaatkan.

b. Dasar Kerja

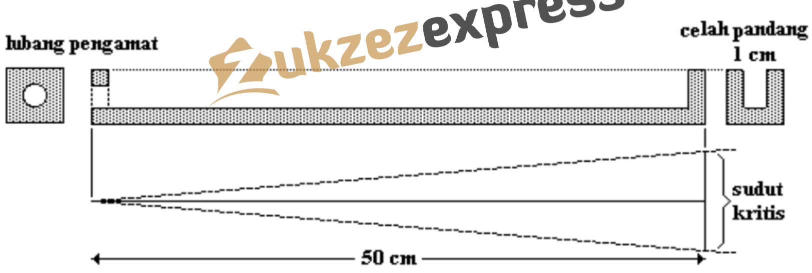
Dasar kerja Spiegel relaskop mengacu pada dasar kerja tongkat Bitterlich. Tongkat Bitterlich ini sebenarnya telah diperkenalkan oleh W. Bitterlich pada tahun 1932 yaitu memanfaatkan sudut pandang (*angle gauge*) dalam menduga luas bidang dasar tegakan dari suatu titik pada kegiatan inventarisasi hutan.

Bentuk awal tongkat tersebut sangat sederhana yaitu berupa tongkat (kayu) sepanjang 100 cm dan pada bagian ujung ditempelkan plat logam (benda logam) selebar 2 cm seperti Gambar 2.23.



Gambar 2.23. Bentuk awal tongkat Bitterlich.

Karena tongkat sepanjang 100 cm dianggap tidak begitu praktis dalam pemakaiannya, maka dimodifikasi dengan merubah ukurannya dengan perbandingan yang sama yaitu panjang tongkat diperpendek menjadi 50 cm dan lebar plat menjadi 1 cm seperti disajikan pada Gambar 2.24.



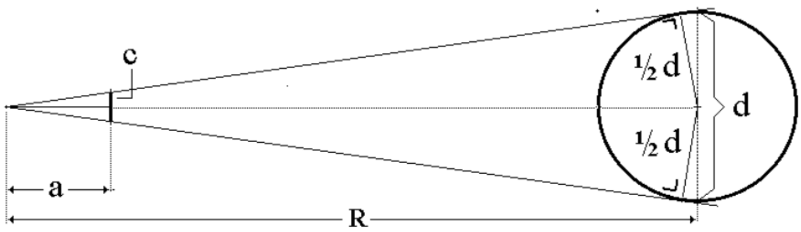
Gambar 2.24. Tongkat Bitterlich dengan nilai K = 1/50.

Memperhatikan kedua gambar di atas, tongkat tersebut dapat dibuat sendiri dengan kayu reng sepanjang 50 cm, kemudian pada bagian ujung lekatkan logam pipih berbentuk huruf U dengan lebar 1 cm dan pada bagian pangka lekatkan logam pipih berlubang dengan diameter 1 cm.

Katakan sebatang pohon dibidik setinggi dada (d) dengan jarak tertentu dan sudut pandang tepat menyinggung lingkaran penampang lintang batang (Gambar 2.26), maka diperoleh perbandingan sebagai berikut :

c : a = d : R = 1 : 50

R = 50 d



Gambar 2.25. Perbandingan diameter pohon terhadap radius kritis.

Keterangan :

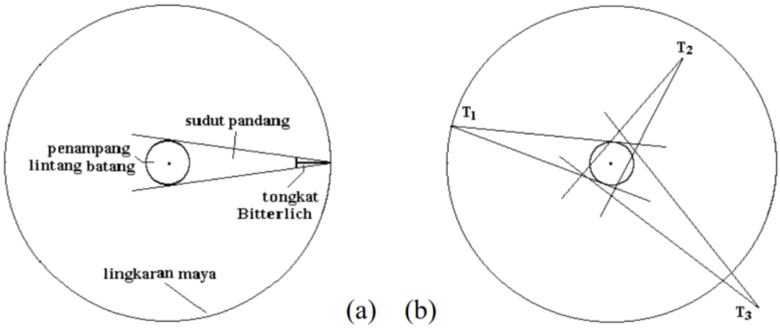
a = panjang tongkat

c = lebar celah pandang

R = radius kritis

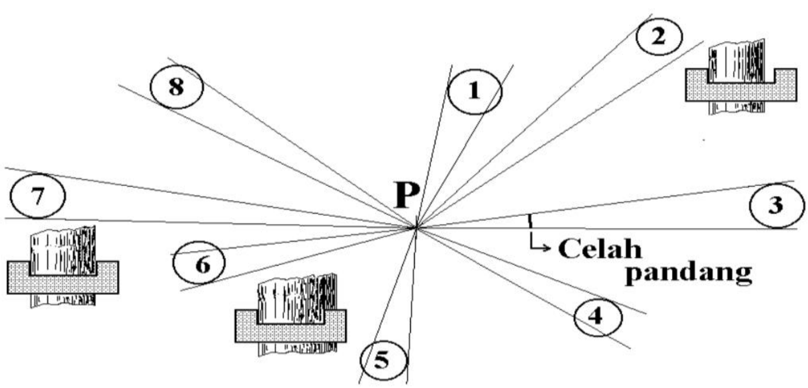
d = diameter pohon

R merupakan jarak antara letak lubang pengamat dengan titik pusat pohon, dimana kedua sisi sudut pandang menyinggung lingkaran penampang lintang batang setinggi dada. Jarak yang dibentuk disebut radius kritis (*critical radius*) dan dalam teori penarikan titik contoh (*point sampling*) lingkaran yang dibentuknya dengan titik pusat suatu pohon dinyatakan sebagai lingkaran maya (*imagenary circle*). Berarti pada titik pusat batang pohon terdapat dua buah lingkaran yaitu lingkaran penampang lintang batang (lingkaran kecil) dan lingkaran maya dengan radius R, seperti Gambar 2.26a. Bila pohon tersebut dilihat dari tiga titik yang bebeda, maka akan tampak seperti Gambar 2.26b.



Gambar 2.26. Penampang lintang batang, lingkaran maya dan sudut pandang.

Ketiga titik pandang pada Gambar 2.26b menunjukan bahwa bila suatu pohon diukur pada T1 (tepat pada busur lingkaran maya) maka pohon tersebut menjadi pohon batas, bila berada dalam lingkaran maya (T2) maka pohon dianggap masuk dan diukur, bila di luar lingkaran maya maka pohon tersebut dianggap keluar dan tidak diukur. Mengingat pohon-pohon yang akan diukur berbagai ukuran yang berarti pula diperoleh berbagai ukuran lingkaran maya, maka ditentukan lebih dulu suatu pohon sebagai pohon batas dan titik pandang merupakan titik contoh. Kenampakan pohon-pohon berbagai ukuran dari titik tertentu (contoh) disajikan seperti Gambar 2.27



Gambar 2.27. Kenampakan pohon-pohon berbagai ukuran dari titik contoh.

Keterangan :

P = titik contoh

1,4,5,6,8 = pohon contoh

2 = bukan pohon contoh

3,7 = pohon batas

Bila jumlah pohon contoh diketahui (tanpa mengukur diameter), luas bidang dasar tegakan dapat ditentukan, yaitu banyaknya pohon contoh dikalikan dengan faktor luas bidang dasar (*Basal Area Factor*).

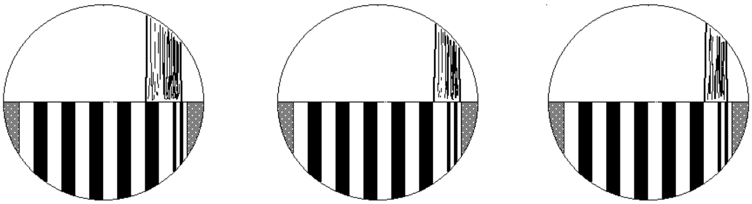
Dasar kerja tongkat Bitterlich inilah yang dijadikan dasar dalam pengembangan dasar kerja Spiegel relaskop dalam menentukan diameter pohon. Pengembangan utama dengan memperlebar celah pandang menjadi 2 cm, 3 cm hingga 12 cm dengan tiap 1 cm dinyatakan sebagai 1 bar.

c. Penentuan pohon contoh

Kriteria dalam menetapkan pohon contoh dengan menggunakan tongkat Bitterlich telah diilustrasikan pada Gambar 2.24. Adapun kriteria masing-masing pohon dalam pemakaian Spiegel relaskop sebagai berikut :

1. Pohon contoh; Bila sebagian sisi penampang bujur batang berada di luar sudut pandang dan dapat dijadikan sebagai pohon contoh.
2. Pohon batas; Bila sudut pandang tepat menyinggung sisi penampang bujur batang. Untuk meyakinkan apakah pohon tersebut dijadikan pohon contoh atau tidak, perlu diperiksa (kontrol) terhadap R (radius kritis = jari-jari lingkaran maya).
3. Bukan pohon contoh; Bila kedua sisi penampang bujur batang berada di dalam sudut pandang.

Gambar 2.28 berikut menyajikan kenampakan pohon contoh dengan Spiegel untuk BAF-4.

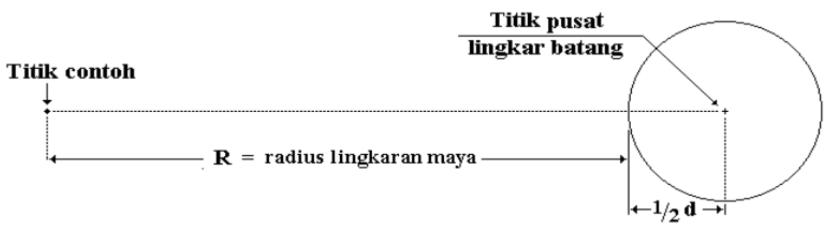


Gambar 2.28. Posisi penampang bujur batang dari sudut pandang.

Kendala lapangan yang biasa ditemukan saat menentukan pohon batas, adanya pohon yang terlindung, keberadaan pohon di tepi areal dan kondisi topografi. Keempat kendala tersebut sebagai berikut :

a) Pohon-pohon batas (*borderline trees*)

Keberadaan pohon batas sangat mempengaruhi kecermatan hasil dugaan luas bidang dasar suatu tegakan dengan titik contoh. Untuk lebih meyakinkan pohon tersebut merupakan pohon batas, maka perlu mengukur jarak antara titik contoh terhadap titik pusat lingkar batang. Berikut disajikan ilustrasi untuk memperjelas kedudukan pohon batas seperti Gambar 2.29.



Gambar 2.29. Pengukuran radius lingkaran maya.

Sebagai contoh pengukuran dengan BAF-4 berarti $K = {}^{2}/_{50}$ dan

$R = 25$ d. Misal diameter pohon batas 40 cm, maka nilai R adalah :

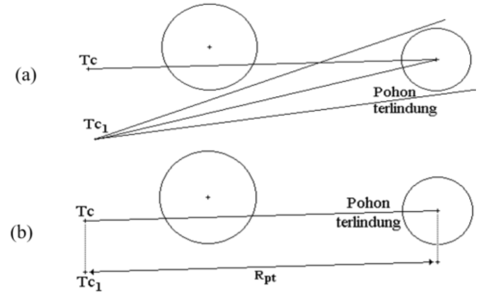
$R = 25\ d = 25 \times 40\ cm = 10$ meter; atau

$${}^{2}/_{50} = {}^{40}/_{R} \;;\quad R = \frac{50 \times 40}{2} = 1000\ cm = 10\ m$$

Cara koreksi ini cukup cermat namun berarti menambah waktu kerja. Atau dengan kata lain memerlukan waktu kerja yang lebih lama. Di lain pihak penggunaan titik contoh (*point sampling*) menginginkan pelaksanaan yang lebih cepat, disamping titik pusat lingkaran batang sukar ditentukan secara tepat yang mengakibatkan hasil pengukuran jarak tidak pernah tepat. Upaya mengatasi ketidak-tepatan jarak ukur antara titik contoh terhadap titik pusat lingkaran batang maka hasil pengukuran jarak dari titik contoh dengan bagian terluar lingkaran batang ditambahkan dengan setengah diameter lingkaran batang (Gambar 2-26). Sehingga jarak yang sebenarnya adalah radius lingkaran maya pohon, yaitu (R + ½ d) = 10,2 meter. Bila jarak terhadap pohon batas (setelah diukur) lebih pendek dari radius lingkaran maya pohon, maka pohon tersebut dinyatakan sebagai pohon contoh.

b) Pohon terlindung (*hidden trees*)

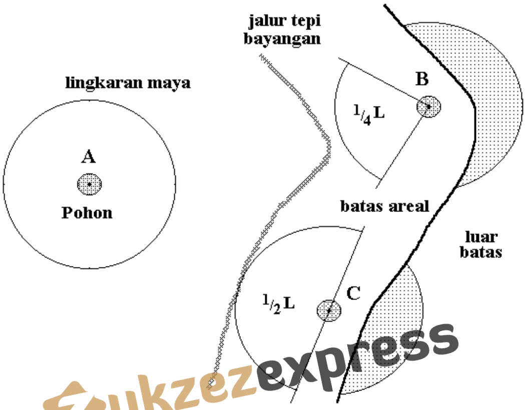
Posisi pohon terlindung biasanya berada di sebelah belakang dari pohon yang melindunginya. Upaya mengatasinya ada dua cara yaitu menggeser titik contoh atau mengukur jarak antara titik contoh dengan titik pusat lingkaran pohon. Pergeseran titik contoh dibuat sedemikian rupa (bersifat sementara) sehingga titik pusat lingkaran pohon dapat terlihat dari titik contoh dan jarak kedua titik tersebut tidak berubah (Gambar 2.30a). Cara kedua dengan mengukur langsung jarak antara titik contoh terhadap titik pusat lingkaran pohon dan mengukur diameter pohon yang bersangkutan. Selanjutnya dibandingkan radius lingkaran maya pohon tersebut (Gambar 2.30b).



Gambar 2.30. Ilustrasi pohon terlindung

c) Pohon-pohon di tepi batas areal (*slope-over*)

Adanya pohon-pohon di tepi batas akan menyebabkan sebagian lingkaran maya pohon berada di luar batas areal. Sehingga banyaknya titik-titik contoh yang termasuk dalam lingkaran maya berkurang dan berarti peluang pohon yang masuk ke dalam contoh tidak sesuai dengan ukuran lingkaran yaitu seluas lingkaran maya yang semestinya. Hal ini diilustrasikan seperti pada Gambar 2.31.



Gambar 2.31. Lingkaran maya pohon di tepi batas areal.

Upaya mengatasinya dengan membayangkan ada jalur tepi disepanjang batas areal yang lebarnya dianggap sama dengan radius lingkaran maya pohon yang berdiameter terbesar yang ada ditepi batas areal. Sehingga akan diperoleh untuk semua titik contoh yang berada dalam jalur tepi (pohon B) dihitung seperempat lingkaran (sudut bidik 90^0), sehingga dugaan luas bidang.dasar tegakan per hektar diperoleh dari jumlah pohon contoh dikalikan empat. Atau seperti kedudukan pohon C dihitung setengah lingkaran (sudut bidik 180^0), sehingga dugaan luas bidang.dasar tegakan per hektar diperoleh dari jumlah pohon contoh dikalikan dua. Sebagai contoh misal diameter pohon-pohon yang di tepi areal tidak melebihi 40 cm. Pengukur sudut Spiegel dengan BAF = 4 (berarti K = $^2/_{50}$), maka jalur tepi selebar $^{50}/_2$ x 40 cm = 10 meter.

d) Kondisi topografi.

Suatu kawasan yang berhutan umumnya bergelombang. Sehingga menemukan kondisi datar saat pengukuran dilakukan merupakan suatu kendala. Upaya mengatasinya dengan mendatarkan kondisi lapangan yang miring dengan memperhitungan besaran sudut yang dibentuk terhadap bidang datar. Persamaan hitungnya dalam upaya mengatasi topografi yang miring telah disajikan pada "Koreksi jarak lapangan" dalam "Ketentuan Pengukuran".

d. Pengembangan celah pandang

Perbandingan antara lebar celah pandang selebar 1 cm dengan panjang tongkat 50 cm dalam titik contoh dinyatakan sebagai 1 bar memberikan nilai sebesar $^1/_{50}$, celah pandang selebar 2 cm (2 bar) memberikan nilai sebesar $^2/_{50}$, celah pandang selebar 3 cm (3 bar) memberikan nilai sebesar $^3/_{50}$, celah pandang selebar 4 cm (4 bar) memberikan nilai sebesar $^4/_{50}$ dan seterusnya. Berarti nilai-nilai tersebut merupakan perbandingan jarak antara lebar celah pandang terhadap panjang tongkat 50 cm dalam suatu titik contoh yang dinyatakan sebagai nilai konstanta K pada Spiegel relaskop. Jadi perbandingan kedua jarak tersebut adalah :

1) bila nilai K = $^1/_{50}$; perbandingannya c : a = d : R = 1 : 50; R = 50 d
2) bila nilai K = $^2/_{50}$; perbandingannya c : a = d : R = 2 : 50; R = 25 d
3) bila nilai K = $^3/_{50}$; perbandingannya c : a = d : R = 3 : 50; R = $^{50}/_3$ d
4) bila nilai K = $^4/_{50}$; perbandingannya c : a = d : R = 4 : 50; R = $^{50}/_4$ d; dst.

Berarti bila nilai K = $^1/_{50}$ untuk satu bar dengan jarak ukur datar (R = radius kritis) 10 meter, maka setiap bar mengukur diameter 20 cm dan tiap ¼ bar untuk mengukur 5 cm. Atau dengan kata lain bila jarak ukur datar = 10 meter dengan nilai K = $^1/_{50}$, maka d = $^R/_{50}$ = $^{1000}/_{50}$ = 20 cm; berarti setiap bar mengukur diameter 20 cm dan tiap ¼ bar untuk mengukur 5 cm. Secara ringkas nilai K dapat dinyatakan sebagai :

$$^{\text{Jumlah bar}}/_{50} = {}^{\text{diameter}}/_{\text{jarak ukur datar}}$$

Nilai-nilai konstanta K tersebut sebenarnya merupakan nilai-nilai *Basal Areal Factor* (BAF) untuk menentukan volume suatu tegakan. Sehingga bila setiap satu bar menunjukkan nilai K = $^{1}/_{50}$ dinyatakan sebagai BAF-1, dua bar menunjukkan nilai K = $^{2}/_{50}$ dinyatakan sebagai BAF-4, tiga bar menunjukkan nilai K = $^{3}/_{50}$ dinyatakan sebagai BAF-9, empat bar menunjukkan nilai K = $^{4}/_{50}$ dinyatakan sebagai BAF-16 dan seterusnya. Sebagai contoh pada BAF-4 dengan diameter pohon 80 cm, maka perhitungan jarak ukur datar (R) adalah $^{2}/_{50} = {}^{80}/_{R}$.

R = 50/2 x 80 cm

= 2000 cm = 20 meter

Uraian dasar kerja ini secara ringkas disajikan seperti Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Pengembangan dasar kerja tongkat Bitterlich dalam Spiegel Relaskop

Nilai K = $^{c}/_{a}$	Radius kritis ($R = {}^{a}/_{c}\ d$)	BAF-c^2	Luas bidang dasar (ha)
$^{1}/_{50}$	$^{50}/_{1}$ d = 50 d	**BAF-1**	**1**
$^{2}/_{50}$	$^{50}/_{2}$ d = 25 d	BAF-4	4
$^{3}/_{50}$	$^{50}/_{3}$ d	BAF-9	9
$^{4}/_{50}$	$^{50}/_{4}$ d	BAF-16	16
$^{5}/_{50}$	$^{50}/_{5}$ d	BAF-25	25
....	....	....	....

Keterangan : c = celah pandang a = panjang tongkat d = diameter batang

Bila luas penampang lintang batang (luas bidang dasar) berdiameter sebesar d cm dibandingkan dengan luas lingkaran maya (R = 50 d) untuk nilai K = $^{1}/_{50}$ diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$\frac{(\pi d^2)/4}{\pi R^2} = \frac{(\pi d^2)/4}{\pi (50d)^2} = \frac{(\pi d^2)/4}{\pi .2500.d^2} = \frac{1}{10.000} = 1\ m^2/ha$$

Ini mengandung pengertian bahwa pohon dengan luas bidang dasar (Lbd) 1 m^2 (d = 112,8 cm) mempunyai lingkaran maya seluas 1 ha. Atau bila dalam radius 56,4 m terdapat pohon berdiameter 112,8 cm, maka peluang keberadaan pohon tersebut dalam 1 ha sebesar 100%. Tentunya untuk pohon berdiameter lebih kecil yang berada dalam areal 1 ha akan mempunyai peluang lebih kecil 100%. Sebagai contoh disajikan hasil perhitungan untuk beberapa diameter berbeda seperti Tabel 2.2.

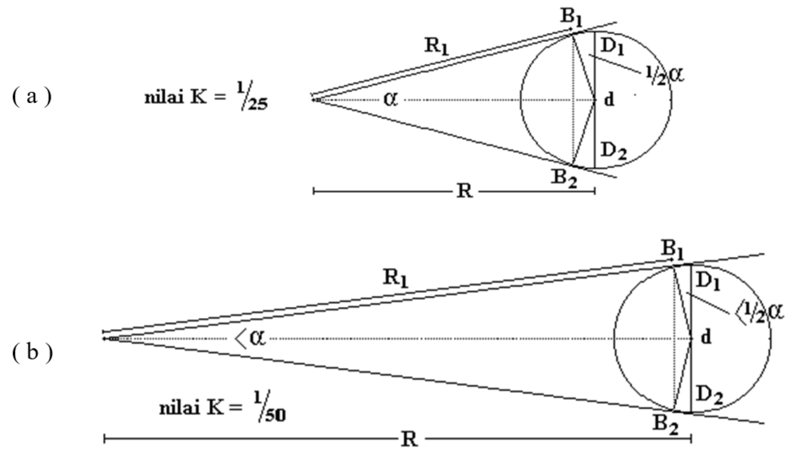
Tabel 2.2. Hubungan diameter pohon dengan peluangnya dalam lingkaran maya 1 ha (nilai K = $^{1}/_{50}$)

Diameter (cm)	Luas bidang dasar pohon (m^2)	Luas lingkaran maya (m^2)	Peluang (%)
112,8	1	10.000	100
100	0,7857	7.857	78,57
90	0,6364	6.364	63,64
80	0,5029	5.029	50,29
70	0,3850	3.850	38,50
60	0,2829	2.829	28,29
50	0,1964	1.964	19,64
40	0,1257	1.257	12,57
30	0,0707	707	7,07
20	0,0314	314	3,14

Jadi peluang suatu pohon untuk dinyatakan masuk ke dalam areal seluas 1 ha tergantung dari diameter atau luas bidang dasar pohon yang bersangkutan.

e. Faktor luas bidang dasar

Bila diperhatikan Gambar 29 di bawah ini ternyata panjang d (diameter) perlu dikoreksi mengingat B_1B_2 sebenarnya tidak merupakan garis lurus. Ini akibat titik singgung pada lingkar batang tidak pada D_1 dan D_2. Tetapi mengingat sudut pandang umumnya cukup kecil dan semakin jauh jarak ukur menyebabkan titik B_1 dan titik B_2 bergerak mendekati D_1 dan D_2 sehingga sudut pandang (α) semakin kecil. Karena makin kecil sudut pandang (Gambar 2.32b), maka bias yang ditimbulkannya ($^{1}/_{2}$ α) semakin kecil, sehingga koreksi tersebut diabaikan.



Gambar 2.32. Sudut pandang dan lingkaran maya

Katakan sudut pandang sebesar α akan diperoleh radius sebesar

$$\sin\left({}^{\alpha}/_{2}\right) = \frac{{}^{d}/_{2}}{R} \text{ ; maka diperoleh } R = \frac{d}{2\ \sin\left({}^{\alpha}/_{2}\right)}$$

Sehingga perbandingan antara luas bidang dasar (Lbd) dengan lingkaran maya menjadi

$$\frac{(\pi d^2)/4}{\pi R^2} = \frac{(\pi d^2)/4}{\dfrac{\pi\ d^2}{4 \sin^2\left({}^{\alpha}/_{2}\right)}} = \sin^2\left({}^{\alpha}/_{2}\right)$$

Luas bidang dasar suatu tegakan per ha (Lbdt/ha) adalah

$$\begin{aligned} \text{Lbdt/ha} &= 10.000 \sin^2\left({}^{\alpha}/_{2}\right) n \\ &= 10^4 \sin^2\left({}^{\alpha}/_{2}\right) n \end{aligned}$$

dimana: 10.000 = luas lingkaran maya (1 ha)

n = jumlah pohon contoh pada suatu titik contoh

Nilai $10^4 \sin^2(^{\alpha}/_{2})$ inilah yang dinyatakan sebagai nilai faktor luas bidang dasar (*Basal Area Factor*) yang lebih dikenal dengan singkatan BAF.

Untuk menentukan nilai BAF dapat dilakukan dengan lima cara yaitu:

1. Banyaknya pohon dengan ukuran tertentu yang mempunyai sejumlah luas lingkaran maya dikalikan dengan luas bidang dasar pohon *tunggal*.

   Katakan pohon berdiameter 50 cm diukur dengan alat bernilai K tertentu. Berarti luas bidang dasarnya = 0,1964 m^2 dengan luas lingkaran maya 1.964 m^2. Untuk luas areal 1 ha diperoleh pohon sebanyak $^{10.000}/_{1.964}$ = 5,1 pohon dengan jumlah luas bidang dasar = 5,1 x 0,1964 = 1,0 m^2 (dibulatkan).

   Contoh lain, pohon berdiameter 20 cm, berarti luas bidang dasarnya = 0,0314 m^2 dengan luas lingkaran maya 314 m^2. Jumlah pohon yang diperoleh untuk areal seluas 1 ha sebanyak $^{10.000}/_{314}$ = 31,8 pohon dengan jumlah luas bidang dasar = 31,8 x 0,0314 = 1,0 m^2 (dibulatkan).

   Kesimpulan yang dapat ditarik bahwa berdasarkan hasil perhitungan luas bidang dasar pohon sebesar 1,0 m^2 berarti nilai K = $^{1}/_{50}$ atau BAF = 1

2. $$\frac{10.000}{\text{luas lingkaran maya pohon ybs}} \text{ x luas bidang dasar pohon ybs}$$

   Misal pohon berdiameter 60 cm dengan alat bernilai K = $^{1}/_{50}$. Berarti Lbd pohon = 0,2829 m^2 dengan lingkaran maya seluas 2.829 m^2.

$$\text{BAF} = \frac{10.000}{2.829} \times 0{,}2829 = 1$$

3. kebalikan dari peluang satu titik yang termasuk ke dalam lingkaran maya secara acak dikalikan dengan luas bidang dasar pohon.

   Misalkan pohon berdiameter 60 cm dengan alat bernilai K = $^1/_{50}$. Berarti Lbd pohon = 0,2829 m^2 dengan lingkaran maya seluas 2.829 m^2. Peluang titik untuk masuk dalam lingkaran maya secara acak sebesar 28,29%.

$$\text{BAF} = \frac{1}{0{,}2829} \times 0{,}2829 = 1$$

4.

$$\frac{10.000}{4} \times (\text{nilai K})^2$$

Misal nilai konstanta alat:

$$K = {}^1/_{50};\quad \text{BAF} = \frac{10.000}{4} \times ({}^1/_{50})^2 = 1$$

$$K = {}^1/_{25};\quad \text{BAF} = \frac{10.000}{4} \times ({}^1/_{25})^2 = 4$$

$$K = {}^2/_{50};\quad \text{BAF} = \frac{10.000}{4} \times ({}^2/_{50})^2 = 4$$

$$K = {}^3/_{50};\quad \text{BAF} = \frac{10.000}{4} \times ({}^3/_{50})^2 = 9$$

$$K = {}^5/_{50};\quad \text{BAF} = \frac{10.000}{4} \times ({}^5/_{50})^2 = 25$$

Cara praktis adalah lebar celah pandang dipangkatkan dua untuk panjang 50 cm. Misal untuk nilai K = $^{4}/_{50}$ maka BAF = $(4)^{2}$ = 16. Untuk nilai K = $^{1}/_{25}$ sama dengan $^{2}/_{50}$ maka BAF = $(2)^{2}$ = 4. Sebaliknya bila BAF = 3, maka nilai K = $^{\sqrt{3}}/_{50}$ = $^{1,7}/_{50}$.

5. $$\text{BAF} = \frac{\text{Luas bidang dasar tegakan (m}^2\text{)}}{7}$$

Dalam hal ini penentuan BAF disesuaikan dengan kondisi tegakan agar diperoleh pendugaan yag cermat atau dengan kata lain bahwa nilai BAF disesuaikan dengan infromasi tentang diameter pohon dan kerapatan tegakan. Karena semakin besar diameter pohon atau semakin rapat tegakan akan lebih cenderung memilih BAF yang lebih besar dan demikian pula sebaliknya. Menurut Husch, Miller dan Beers (1982) untuk memilih nilai BAF dengan mengupayakan rataan pohon contoh yang diperoleh sebanyak 7 pohon (7 pohon per titik contoh). Bila luas bidang dasar tegakan dapat diperkirakan sebelum pelaksanaan inventarisasi, maka diperoleh BAF yang sesuai.

Katakan luas bidang dasar suatu tegakan diduga 30 m^2/ha, maka nilai BAF yang sesuai adalah (30 : 7) = 4,3. Nilai BAF yang dipilih adalah 4. (BAF-4 ; K = $^{2}/_{50}$).

Pemilihan nilai BAF pada inventarisasi suatu tegakan umumnya dilakukan sebagai berikut :

- BAF-1; nilai K = $^{1}/_{50}$ untuk tegakan berukuran kecil (umur muda)
- BAF-4; nilai K = $^{2}/_{50}$ untuk tegakan berukuran sedang
- BAF-9; nilai K = $^{3}/_{50}$ untuk tegakan berukuran besar (umur tua)

f. Cara pemakaian

Langkah–langkah pemakaiannya sebagai berikut:

1) Bidik diameter batang setinggi dada dan baca :

- Banyaknya 1 bar penuh (nF).
- Banyaknya ¼ bar (nQ)

2) Ukur jarak datar

3) Hitung diameternya

Perhitungan diameter menggunakan rumus:

$$D = \frac{\{(nF \times 4) + nQ\}}{2} \times R$$

dimana :

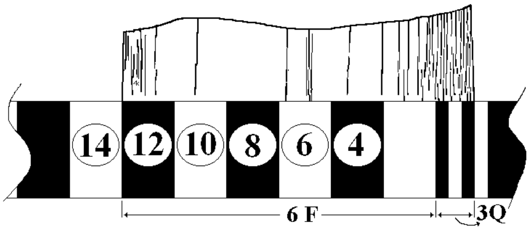
D = diameter dalam cm
nF = banyaknya 1 bah penuh (sebaiknya 6 bar atau lebih)
nQ = banyaknya ¼ bar (bisa penuh; bisa tak penuh)
R = jarak datar (m)
4 dan 2 = tetapan

Karena ¼ bar tak penuh sering ditemukan, maka dalam menentukan diameter pohon akan diperoleh dua kemungkinan yaitu:

1) ¼ bar penuh

Agar pembacaan ¼ bar dapat diperoleh secara penuh, maka si pengukur bergerak maju-mundur (mendekat atau menjauh) dari batang pohon. Sebagai contoh katakan setelah diperoleh 6 bar penuh, kemudian mengupayakan ¼ bar menjadi penuh. Misalnya diperoleh 3 buah ¼ bar penuh (Gambar 2.33). Selanjutnya ukur jarak terhadap pohon dan diperoleh sejauh 6,8 meter. Diameter pohon diperoleh dengan rumusan tersebut adalah:

$$D = \frac{\{(6 \times 4) + 3\}}{2} \times 6{,}8 = 91{,}8 \text{ cm}$$

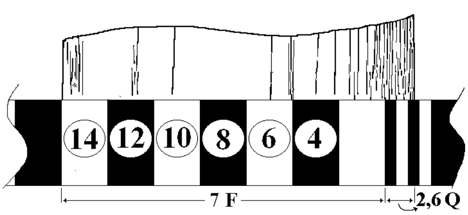


Gambar 2.33. Pengukuran diameter dengan pembacaan ¼ bar penuh.

2) ¼ bar tak penuh

Umumnya jarak ukur diatur supaya dalam satuan meter penuh atau jarak seadanya. Katakan jarak ukur terhadap pohon ditentukan berjarak 6 meter. Dalam celah pandang (Gambar 2.34) terlihat 7 buah bar penuh dan sisanya yaitu banyaknya ¼ bar tidak penuh. Misal diperoleh 2 buah ¼ bar penuh dan 6 strip pada ¼ bar ke tiga (diperkirakan). Diameter pohon diperoleh dengan rumusan tersebut adalah:

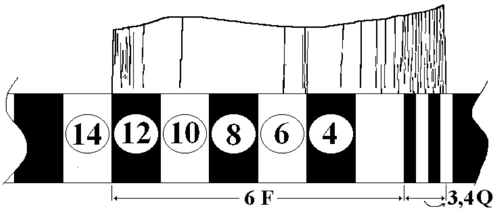
$$D = \frac{\{(7 \times 4) + 2{,}6\}}{2} \times 6 = 91{,}8 \text{ cm}$$



Gambar 2.34. Pengukuran diameter dengan pembacaan ¼ bar tak penuh.

Setelah ditemukan posisi untuk membidik letak diameter (jarak seadanya), kemudian diukur jaraknya. Misal diperoleh jarak 6,7 meter dan dalam celah pandang terlihat (Gambar 2-32) 6 buah bar penuh, 3 buah ¼ bar penuh dan 4 strip pada ¼ bar ke-empat (diperkirakan). Diameter pohon diperoleh dengan rumusan tersebut adalah:

$$D = \frac{\{(6 \times 4) + 3{,}4\}}{2} \times 6{,}7 = 91{,}8 \text{ cm}$$



Gambar 2.32. Pengukuran diameter dengan jarak ukur seadanya.

g. Penyesuaian rumus diameter

Kondisi topografi (kelerengan) sering ditemui di lapangan telah dikemukakan pada bab sebelumnya. Sehubungan dengan hal tersebut, maka penggunaan rumus perhitungan diameter pada alat ukur Spiegel relaskop perlu disesuaikan dengan kondisi lapangan sehingga diameter pohon yang diperoleh berada pada kondisi jarak datar dan bukan pada jarak lapangan.

Rumusan diameter berikut (telah dikemukakan sebelumnya) hanya berlaku bila kondisi lapangan datar (sudut $\varphi = 0$). Ini ditunjukkan dengan jarak R sebagai jarak datar.

Bila jarak R tersebut pada kondisi miring berarti yang diperoleh bukan jarak R, tetapi jarak m (jarak lapangan). Agar diperoleh jarak R maka jarak m perlu dikoreksi, sehingga rumusan diameter tersebut perlu disesuaikan dengan jarak m. Penyesuaian rumusan diameter tersebut dengan mensubstitusikan rumusan koreksi jarak m (lihat Gambar 2.7) ke dalam jarak R, sehingga diperoleh rumusan diameter diperoleh dengan rumusan tersebut adalah:

1) Bila sudut yang dibentuk dalam satuan derajat :

$$D \text{ (cm)} = \frac{\{(nF \times 4) + nQ\}}{2} \times m \cos \alpha$$

2) Bila sudut yang dibentuk dalam satuan persen :

$$D\ (cm) = \frac{\{(nF \times 4) + nQ\}}{2} \times m \cos(0{,}45\ p)$$

Katakan hasil pembacaan bar diperoleh 6 bar penuh dan 1,2 untuk ¼ bar dengan jarak bidik (jarak ukur) sejauh 8 meter.

Bila sudut bidik sebesar 10^0. Diameter sebenarnya adalah

$$\begin{aligned} D\ (cm) &= \frac{\{(6 \times 4) + 1{,}2\}}{2} \times 8 \cos(10) \\ &= 99{,}29\ cm \end{aligned}$$

Bila sudut bidik dalam persen yaitu 22,2%, maka diameter sebenarnya adalah:

$$\begin{aligned} D\ (cm) &= \frac{\{(6 \times 4) + 1{,}2\}}{2} \times 8 \cos(0{,}45 \,.\, 22{,}2) \\ &= 99{,}29\ cm \end{aligned}$$

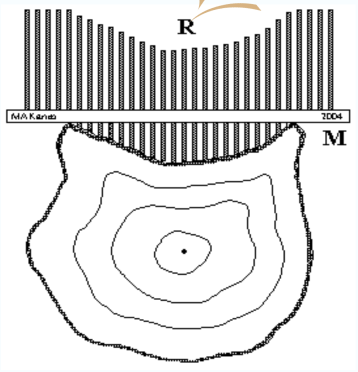
BAB 3

LEKUKAN BATANG DAN KULIT

A. Lekukan Batang

1. Bentuk alat

Lekukan pada batang terkadang ditemukan cukup dalam sehingga tidak dapat diukur. Keberadaan lekukan yang dalam dapat menyebabkan kesalahan ukur diameter. Untuk mengatasi hal tersebut dilakukan pengukuran dengan alat Gleuvenmeter yang bentuknya diilustrasikan seperti Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Bentuk Gleuvenmeter.

Keterangan :

R = rusuk-rusuk yang tegak lurus pada mistar M dengan jarak antara rusuk 2 cm. Tiap rusuk mempunyai skala dengan selang antara garis pembagian sebesar ½ cm.

M = mistar dari bahan kuningan atau tembaga.

2. Dasar kerja

Luas yang diukur adalah luas penampang lintang lekukan yang juga merupakan penjumlahan beberapa trapesium yang membentuk sebuah trapesium siku. Adapun luas trapesium adalah setengah dari jumlah sisi-sisi yang sejajar kali jarak antara rusuk diperoleh dengan rumusan tersebut adalah:

$$\text{Luas trapesium} = \frac{p_1 + p_2}{2} \times j$$

dimana:

p = panjang tiap rusuk yang dapat dibaca pada skala

j = jarak antara rusuk-rusuk (2 cm)

Katakan panjang dari bagian-bagian tiap rusuk saling membatasi trapesium-trapesium dari kiri ke kanan misalnya p_1, p_2, p_3, …….. , p_n kali satuan pemabgain skala (= ½ cm), sehingga luas penampang lintang lekukan adalah:

$$\text{Luas lekukan} = \text{jumlah luas trapesium}$$

$$= \frac{0 + p_1}{2} \cdot 2 + \frac{p_1 + p_2}{2} \cdot 2 + \dots\dots\dots + \frac{p_n + 0}{2} \cdot 2$$

$$= (p_1 + p_2 + p_3 + p_4 + \dots\dots\dots + p_n) \cdot 2\ \text{cm}^2$$

Karena skala pada rusuk dibuat dengan selang tiap ½ cm, maka luas lekukan adalah :

$$= (p_1 + p_2 + p_3 + p_4 + \dots\dots\dots + p_n) \cdot \tfrac{1}{2} \cdot 2\ \text{cm}^2$$

$$= (p_1 + p_2 + p_3 + p_4 + \dots\dots\dots + p_n)\ \text{cm}^2$$

Berarti luas trapesium merupakan jumlah skala yang ditunjukkan oleh rusuk-rusuk tersebut.

3. Cara pemakaian

Semua rusuk lebih dulu diatur sedemikian rupa agar skalanya pada posisi nol yaitu dengan meratakan pada pinggir mistar. Letakan alat tersebut pada bagian batang yang berlekuk dan tekan tiap rusuk hingga menyentuh bagian dalam lekukan. Angka-angka yang ditunjukkan oleh masing-masing rusuk diantara kedua pinggir lekukan dijumlahkan dan hasil penjumlahannya merupakan luas penampang lintang lekukan batang tersebut.

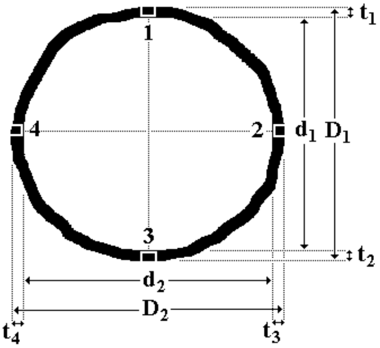
B. Tebal Kulit

Tebal kulit tiap jenis pohon berbeda, bahkan antara pohon dalam satu jenis juga terdapat perbedaan. Perbedaan ini tergantung dari antara lain umur, lingkungan tempat tumbuh, letak pengukuran dan jenis pohon itu sendiri.

1. Titik Pengambilan Kulit

Bila menginginkan diameter batang tanpa kulit atau volume kayu saja, maka perlu dilakukan pengukuran tebal kulit. Pengukuran tebal kulit dilakukan pada 4 titik (tempat), dimana 2 titik saling berseberangan melalui titik sumbu dan 2 titik berikutnya tegak lurus terhadap 2 titik sebelumnya. Ada baiknya menyesuaikan dengan titik-titik pengukuran diameter terpendek dan terpanjang.

Diameter tanpa kulit merupakan hasil pengukuran diameter dengan kulit dikurangi dengan dua kali tebal kulitnya seperti disajikan pada Gambar 3.2.



Keterangan :

1, 2, 3, 4 = titik-titik (tempat) pengambilan atau pengukuran tebal kulit

$D_{1,2}$ = diameter dengan kulit

$d_{1,2}$ = diameter tanpa kulit

$t_{1,2,3,4}$ = tebal kulit

Gambar 3.2. Titik-titik pengambilan kulit.

$R_d = R_D - 2R_t$

$R_t = \frac{1}{4}(t_1 + t_2 + t_3 + t_4)$; $(t_1 + t_2 + t_3 + t_4) = 4.R_t$

$D_1 = d_1 + (t_1 + t_2)$; $D_2 = d_2 + (t_3 + t_4)$

$R_D = \frac{1}{2}(D_1 + D_2)$; substitusikan D_1 dan D_2

$= \frac{1}{2}((d_1 + (t_1 + t_2) + (d_2 + (t_3 + t_4)))$; dan seterusnya

$= \frac{1}{2}(d_1 + d_2) + \frac{1}{2}(t_1 + t_2 + t_3 + t_4)$

$\frac{1}{2}(d_1 + d_2) = \frac{1}{2}(D_1 + D_2) - \frac{1}{2}(t_1 + t_2 + t_3 + t_4)$

$R_d = \frac{1}{2}((D_1 + D_2) - (t_1 + t_2 + t_3 + t_4))$

$= \frac{1}{2}((D_1 + D_2) - 4.R_t)$

Rataan diameter tanpa kulit (R_d) diperoleh dari rataan diameter dengan kulit (R_D) dikurangi rataan tebal kulit (R_t) kali 2.

Bila dalam suatu kegiatan pohon ditebang, maka biasanya kulit diambil langsung (dikupas). Sebagai contoh hasil pengukuran keempat titik diperoleh ketebalan kulit 8 mm, 7,7 mm, 8,1 mm dan 7,8 mm. Ketebalan kulit rata-rata adalah ¼ (8 + 7,7 + 8,1 + 7,8) = 7,9 mm.

Berbagai cara pengukuran untuk memperoleh ukuran tebal kayu antara lain, yaitu dengan cara mengupas/menyayat atau memahat kulit tegak lurus dengan batangnya, menggunakan alat ukur tebal kulit (*bark gauge*) dan menggunakan alat ukur bor riap.

2. Penentuan tebal kulit

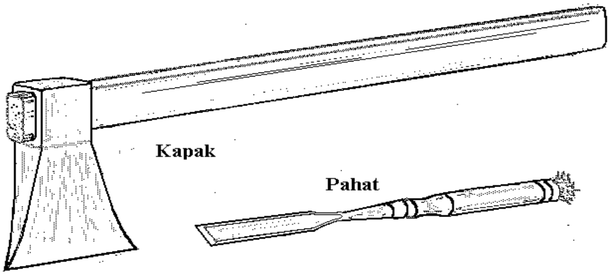
Ketebalan kulit diperoleh dari peralatan yang hanya berfungsi untuk mengambil kulit yang kemudian diukur dengan sigmat, penggaris atau alat ukur panjang lainnya. Tetapi ada pula alat ukur yang langsung mengukur ketebalannya.

a. Alat pengambil kulit

1) Peralatan Sederhana

a) Bentuk Alat

Pahat atau kapak/*belayung* (Gambar 3.3) merupakan alat yang sering digunakan dalam pengambilan kulit kayu, karena mudah diperoleh dan sederhana penggunaannya.



Gambar 3.3. Peralatan sederhana pengambilan kulit.

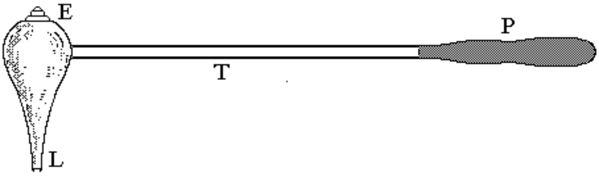
b) Dasar Kerja dan Pemakaiannya

Dalam pemakaiannya kulit dikapak atau dipahat dengan panjang dan lebar yang diinginkan kemudian dikoak. Peralatan ini yang banyak digunakan pada praktek lapangan maupun penelitian-penelitian berkaitan dengan tebal kulit.

2) Alat berbentuk paruh

a) Bentuk alat

Alat ini hanya berfungsi untuk mengambil kulit dan kulit yang diperoleh diukur dengan peralatan ukur panjang penggaris atau sigmat. Bentuk alat seperti Gambar 3.4.



Gambar 3.4. Pengambil kulit berbentuk paruh

Keterangan :

P = pegangan dari ebonit, besi atau kayu
T = tangkai yang dibagian ujungnya seperti kepala berparuh
E = extractor (logam kecil) yang dapat bergerak bila ujung

paruh dipukulkan pada batang pohon

L = paruh berlubang

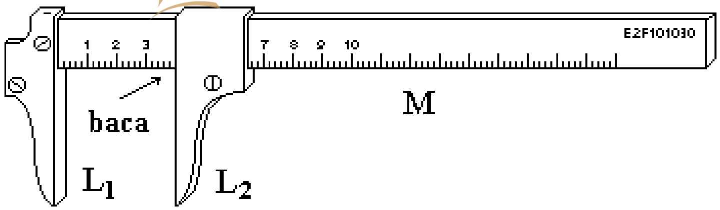
b) Dasar kerja dan pemakaiannya

Dasar kerja dan pemakaian alat yaitu dengan cara memukulkannya pada batang pohon hingga ujung paruhnya masuk ke dalam kulit. Karena ujung paruh berlubang maka sebagian kulit akan masuk ke dalam paruh dan terlihat extractor menonjol keluar. Setelah alat dicabut dan dengan mendorong extractor maka kulit akan keluar. Ukur tebal kulitnya dengan penggaris, sigmat atau alat ukur lainnya.

b. Alat Pengukur Kulit

1) Bentuk alat

Peralatan ukur untuk mengetahui tebal kulit dapat berupa sigmat, penggaris atau alat ukur lainnya. Gambar 3.5 merupakan alat ukur sigmat yang bentuknya serupa dengan alat ukur Apit Pohon (*Caliper*), hanya saja ukurannya jauh lebih kecil.



Gambar 3.5. Sigmat

Keterangan :

L_1 = Lengan diam

L_2 = Lengan geser

M = Mistar berskala

Alat ini biasanya digunakan untuk mengukur diameter batang anakan (semai) dan ketebalan kayu-kayu olahan.

2) Dasar kerja dan pemakaiannya

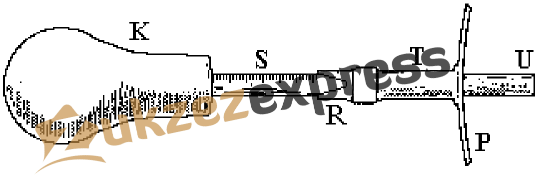
Dasar kerja dan pemakaian alat ini yaitu dengan menggeser-geserkan lengan geser L_2. Objek atau kulit yang akan diukur dimasukkan diantara kedua lengan tersebut, kemudian geser lengan L_2 agar kulit kayu terhimpit. Ketebalam kulit akan terbaca pada sisi penunjuk skala dilengan geser L_2 (tanda panah).

c. Alat pengambil dan pengukur kulit

1) Alat ukur bentuk pahat

a) Bentuk alat

Alat ukur ini hanya berfungsi mengukur ketebalan kulit, sedangkan kulit tetap melekat pada batangnya. Bentuk alat seperti Gambar 3.6.



Gambar 3.6. Pengukur tebal kulit berbentuk pahat

Keterangan:

K = kepala T = tabung tangkai pahat
S = tangkai pahat berskala P = perisai
R = penunjuk skala U = ujung pahat

b) Dasar kerja

Bagian ujung pahat (U) dapat keluar masuk dengan menekan atau menarik kepala pahat (K). Bila ujung pahat rata dengan perisai (P), maka penunjuk skala (R) menunjukkan angka nol. Untuk mengetahui ketebalan kulit, bagian ujung pahat ditekan ke dalam kulit sampai pada bagian kayu, maka tebal kulit akan terbaca pada penunjuk skala (R).

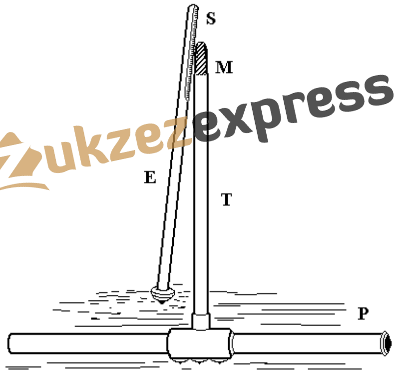
c) Pemakaiannya

Ratakan ujung pahat dengan perisai, dimana penunjuk skala menunjukkan angka nol. Impitkan perisai (P) pada permukaan kulit batang dan tekan kepala pahat (K) agar ujung pahat menembus kulit hingga berhenti saat menyentuh bagain kayu. Lihat pada bagian penunjuk skala dan akan terbaca besaran tebal kulit yang diukur.

d. Bor riap

1) Bentuk alat

Sesuai dengan namanya berfungsi untuk mengetahui riap diameter batang, tapi dapat pula digunakan untuk mengetahui ketebalan kulit seperti Gambar 3.7.



Gambar 3.7. Bor riap.

Keterangan :

P = tabung yang juga berfungsi sebagai pemutar
T = tangkai bor yang bagian ujung-nya terdapat mata bor
M = mata bor
S = skala dalam cm
E = pen yang bagian ujungnya ter-dapat pembagian skala

2) Dasar kerja dan pemakaiannya

Dasar kerja dan pemakaianbya yaitu pemboran kulit dilakukan setelah ditentukan tempat yang akan dibor. Pemboran berhenti setelah diperkirakan mata bor menyentuh bagian kulit. Masukkan pen E dan skala terbaca pada bagian ujungnya.

BAB 4

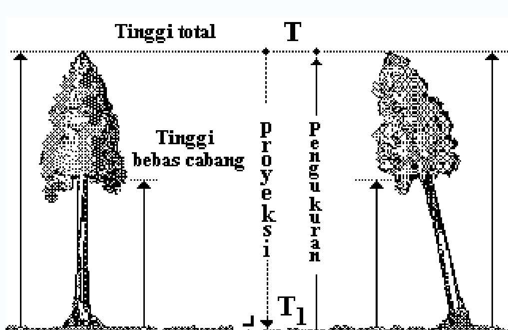
TINGGI POHON

A. Pengertian Tinggi

Pengertian tinggi adalah jarak terpendek yang diperoleh dari proyeksi suatu titik ke bidang datar. Pengukuran tinggi pohon umumnya dilakukan pada dua tempat yaitu dari puncak pohon (tinggi keseluruhan) dan dari cabang pertama (tinggi bebas cabang). Sehingga diperoleh dua macam pengertian tinggi pohon yaitu:

1. Tinggi pohon keseluruhan (total) yaitu jarak terpendek dari titik puncak pohon dengan titik proyeksinya pada bidang datar;
2. Tinggi pohon bebas cabang yaitu jarak terpendek dari titik pada bebas cabang dengan titik proyeksinya pada bidang datar.

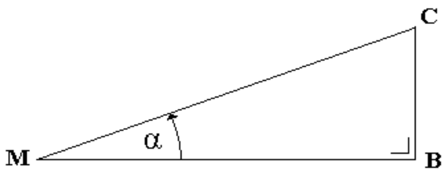
Dasar pengertian tinggi dan tinggi pohon yang umum dikenal selama ini seperti pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Ilustrasi tinggi pohon

B. Rumusan Dasar Tinggi

Pengukuran tinggi pohon didasarkan pada rumus tangen pada segitiga siku dengan kedua sudut lainnya lancip. Bentuk segitiga dimaksud seperti Gambar 4.2.



Gambar 4.2. Rumusan tangen pada segitiga MBC.

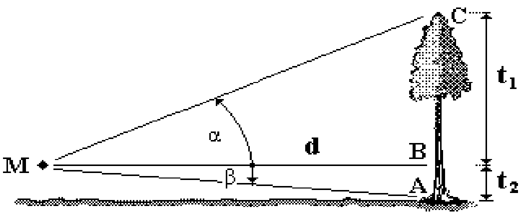
Memperhatikan segitiga MBC pada Gambar 4.2 diperoleh rumus perhitungan tinggi adalah:

$$\mathrm{tg}\ \alpha = \frac{BC}{MB} \longrightarrow BC = MB\ \mathrm{tg}\ \alpha$$

Pengembangan lebih lanjut dalam penentuan tinggi pohon dinyatakan bahwa BC adalah sebagai tinggi pohon, MB sebagai jarak datar antara si pengukur terhadap pohon dan sudut α merupakan sudut yang dibentuk antara garis pandang antara MB dan MC.

Berdasarkan rumusan dasar pengukuran tinggi tersebut selanjutnya dikembangkan sebagai dasar penentuan tinggi pohon dengan memperhatikan posisi alat terhadap sasaran yaitu ketinggian kedudukan mata pengukuran terhadap pangkal atau tajuk pohon.

1. Titik pandang berada diantara pangkal dan ujung batang.



Gambar 4.3. Pengukuran tinggi pohon dengan titik pandang berada diantara ujung dan pangkal batang.

Keterangan :

MB = d = jarak datar dari mata pengukur ke batang pohon.

∠ BMC = α = sudut yang dibentuk oleh bidang datar dengan garis lurus dari mata pengukur ke ujung batang.

∠ BMA = β = sudut yang dibentuk oleh bidang datar dengan garis lurus dari mata pengukur ke pangkal batang.

t_1 = jarak tegak dari titik B (bidang datar setinggi mata) ke titik C (ujung batang).

t_2 = jarak tegak dari titik B (bidang datar setinggi mata) ke titik A (pangkal batang).

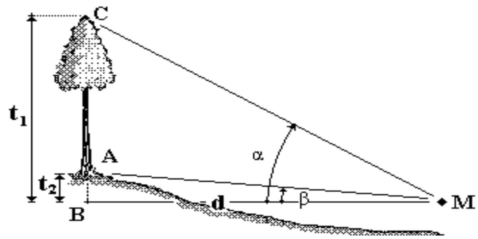
Perhatikan : $tg\ \alpha = \dfrac{t_1}{d} \longrightarrow t_1 = d\ tg\ \alpha$

$$tg\ \beta = \frac{t_2}{d} \longrightarrow t_2 = d\ tg\ \beta$$

Tinggi pohon (T) = $(t_1 + t_2) = d\ tg\ \alpha + d\ tg\ \beta$

$= d\ (tg\ \alpha + tg\ \beta)$

2. Titik pandang berada lebih rendah dari pangkal batang.

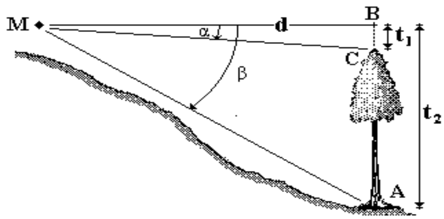


Gambar 4.4. Pengukuran tinggi pohon dengan titik pandang berada lebih rendah dari pangkal pohon

Tinggi pohon (T) = $(t_1 - t_2) = d\ tg\ \alpha - d\ tg\ \beta$

$= d\ (tg\ \alpha - tg\ \beta)$

3. Titik pandang berada lebih tinggi dari ujung batang.



Gambar 4.5. Pengukuran tinggi pohon dengan titik pandang lebih tinggi dari tajuk pohon.

Tinggi pohon (T) = (t2 – t1) = d tg β – d tg α

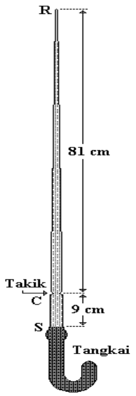
= d (tg β – tg α)

C. Peralatan Ukur Tinggi Pohon

1. Tongkat ukur

a. Bentuk alat

Bahan alat ukur tongkat ukur (Gambar 4.6) umumnya berupa kayu atau logam. Tongkat ukur merupakan alat ukur tinggi yang sangat sederhana. Dengan bahan yang sederhana misalnya kayu kecil atau ranting dengan panjang sembarang sudah dapat digunakan untuk mengukur tinggi.



Keterangan :

RS = panjang tongkat (90 cm)

SC = 9 cm dan CR = 10 cm

SC : SR = 1 : 10

S = titik S yang diarahkan pada pangkal batang

R = titik R yang diarahkan pada tajuk pohon

C = takik C yang bayangannya pada batang dan merupakan batas pengukuran dari pangkal batang (bayangan titik S)

Gambar 4.6. Tongkat ukur.

Berdasarkan perbandingan tersebut diperoleh kemudahan cara pengukuran tinggi. Bila titik maya C dan S pada batang diukur dan hasilnya dikalikan 10, maka hasilnya merupakan tinggi pohon.

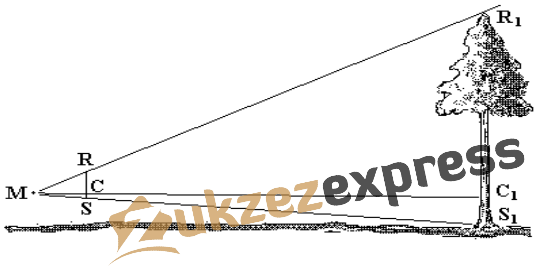
b. Dasar kerja

Perbandingan garis antara segitiga yang sebangun (Gambar 4.7) diperoleh:

$$\Delta\, MCS \approx \Delta\, MC_1S_1 \quad \text{dan} \quad \Delta\, MRC \approx \Delta\, MR_1C_1$$

$$SC \approx SR = S_1C_1 \approx S_1R_1 = 9 : 90 = 1 : 10$$

$$S_1R_1 = 10 \,.\, S_1C_1$$



Gambar 4.7. Posisi tongkat ukur.terhadap pohon.

Untuk pohon yang cukup tinggi lebih menggunakan perbandingan lebih kecil agar mempermudah pengukuran S_1C_1; misalnya $S_1C_1 \approx S_1R_1 = 1 : 20$

c. Cara pemakaian

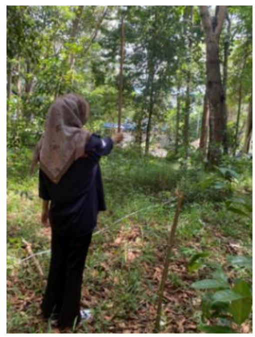
Langkah-langkah pemakaiannya adalah:

1) Arahkan tongkat ukur ke batang pohon,
2) Upayakan ujung tongkat (R) berimpit dengan ujung batang (tajuk) atau batas bebas cabang (R_1) dan pangkal tongkat (S) ke arah pangkal batang pohon (S_1),
3) Pada saat yang bersamaan perhatikan tanda takik (C) pada tongkat berimpit pada batang dan beri tanda (C_1).

4) Ukur tinggi C_1 dari permukaan tanah yaitu setinggi S_1 C_1.

5) Tinggi pohon (S1 R 1) diperoleh dari S1R1 = 10 . S1C1

Cara penggunaan alat ukur tinggi di lapangan dapat dilihat pada Gambar 4.8.

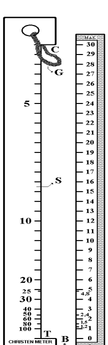


Gambar 4.8. Cara Penggunaan alat tongkat ukur di lapangan

2. Christenmeter

a. Bentuk alat

Christenmeter (Christen Hypsometer) terdiri dari kepingan kuningan atau kayu dengan panjang 30 cm atau 0,3.meter (Gambar 4.9). Dalam pemakaian alat ukur tinggi christenmeter ini dibantu dengan galah sepanjang 4 meter. Galah tersebut didirikan tegak lurus dan berimpit dengan pohon.



Keterangan :

CT = ukuran panjang skala (30 cm)
C = batas atas yang diarahkan pada puncak pohon
T = batas bawah yang di arahkan pada pangkal pohon
S = skala tinggi christen
G = gantungan dari benang
B = pemberat dari timah agar saat pengukuran kepingan christen tidak banyak bergerak

Gambar 4.9. Christenmeter.

Catatan : di sebelah kanan diperlihatkan penggaris 30 cm sebagai alat bantu saat pembuatan skala

b. Dasar kerja

Memperhatikan segitiga MC_1T_1 pada Gambar 4-9 bahwa :

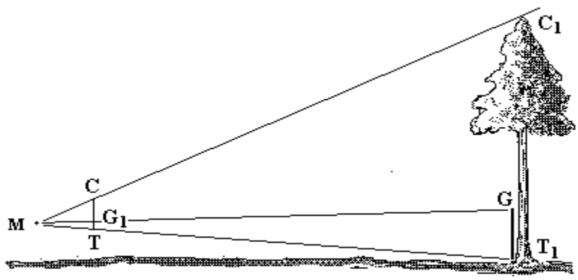
- TC dan T_1C_1 terlihat sama-sama tegak pada bidang datar
- Garis pandang MG memotong CT (christenmeter) pada titik G_1

$$\text{maka} \quad TG_1 : TC = T_1G : T_1C_1$$

$$TG_1 : 0,3 = 4 : T_1C_1$$

$$TG_1 = \frac{0,3 \ \text{x} \ 4}{T_1C_1}$$

Atas dasar persamaan tersebut dibuat skala pada christenmeter yang langsung menunjukkan tinggi pohon yang diukur. Pembuatan skala pada alat lebih dulu menentukan besaran T_1C_1 untuk berbagai ketinggian pohon dan akhirnya diperoleh nilai TG1 sesuai dengan besarnya T_1C_1. Jadi angka-angka yang ditulis pada alat yaitu titik G_1 bukan menunjukkan panjang TC yang sebenarnya tetapi merupakan skala (angka) yang menunjukkan tinggi pohon (T_1C_1). Dengan cara sederhana dapat dibuat christenmeter pada sebilah kayu atau penggaris, dimana skala TG_1 dapat dilakukan sesuai dengan tinggi pohon yang diinginkan (T_1C_1).



Gambar 4.10. Posisi christenmeter terhadap pohon.

Cara pembuatan skala christenmeter adalah:

1) Tentukan tinggi yang diinginkan, misalnya 5 meter;
2) Hitung TG_1 (tinggi pohon) berdasarkan rumusan di atas sebagai berikut :

$$T_1C_1 = 5 \text{ meter, maka } TG_1 = \frac{0{,}3 \times 4}{5} \text{ meter} = 24 \text{ cm}$$

3) Pada bilah christenmeter beri tanda 5 meter (Gambar 4.8) yang identik dengan skala mistar 24 cm dan demikian seterusnya untuk skala tinggi lainnya.

c. Cara pemakaian

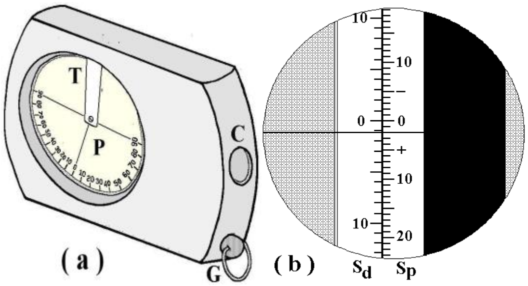
Langkah-langkah pemakaiannya sebagai berikut :

1) Arahkan (bidik) alat christenmeter ke batang pohon,
2) Upayakan ujung atas christen (C) berimpit dengan ujung batang (tajuk) atau batas bebas cabang dan ujung bawahnya (T) ke arah pangkal batang pohon,
3) Impitkan galah sepanjang 4 meter pada batang pohon dan baca skala sesuai dengan penunjukkan ujung galah pada christen. Nilai skala tersebut langsung menunjukkan tinggi pohon dalam meter.

3. Suunto Clinometer

a. Bentuk alat

Suunto Clinometer atau lebih dikenal dengan Clinometer merupakan alat pengukur lereng. Berdasarkan rumusan dasar tinggi, alat ini dapat pula difungsikan sebagai alat pengukur tinggi (Gambar 4.11a). Gambar 4.11b merupakan ukuran skala yang terlihat melalui celah bidik C. Skala di sebelah kiri menunjukkan kelerengan dalam satuan derajat dan di sebelah kanan menunjukkan kelerengan dalam satuan persen.



Gambar 4.11. Suunto Clinometer

Keterangan:

T = tuas penyangga piringan skala

G = cincin untuk tali gantungan

P = piringan skala

Sd = skala lereng dalam derajat

C = celah pandang (pembidik)

Sp = skala lereng dalam persen

Rentangan skala derajat (Sd) bergerak dari -90^0 sampai dengan $+90^0$. Sedangkan rentangan skala persen (Sp) dari –150% sampai dengan +150% (tanda negatip menunjukkan arah bidik menurun dan tanda positip menunjukkan arah bidik menaik). Adapun kesamaan besaran sudut dalam satuan derajat dan dalam satuan persen dinyatakan bahwa besaran sudut 45^0 disetarakan dengan 100% dan untuk 90^0 (sudut siku) disetarakan dengan 200%.

Berdasarkan konversi tersebut diperoleh kesetaraan sudut-sudut φ dalam satuan derajat menjadi satuan persen dan sebaliknya seperti Tabel Lampiran 4.1.

b. Dasar kerja

Dasar kerja alat berdasarkan rumusan dasar pengukuran tinggi yang dillustrasikan pada Gambar 4.3, 4.4 dan 4.5 sehingga rumusan tinggi pohon (T) yaitu:

1) $T = d(\text{tg } \alpha + \text{tg } \beta)$ bila titik pandang berada diantara pangkal dan ujung batang

2) $T = d(\text{tg } \alpha - \text{tg } \beta)$ bila titik pandang berada lebih rendah dari pangkal batang

3) $T = d(\text{tg } \beta - \text{tg } \alpha)$ bila titik pandang berada lebih tinggi dari ujung batang

c. Cara pemakaian

Mengingat alat Clinometer mempunyai dua satuan untuk mengukur lereng, sehingga dalam pengukuran dapat dilakukan sekaligus terhadap kedua satuan tersebut.

Langkah-langkah pemakaiannya adalah:

1) Bidikan alat ke ujung batang atau bebas cabang dan baca besaran sudut α (dalam derajat) atau persen (%) sudut yang dibentuk antara garis bidik dengan bidang datar,

2) Arahkan pula alat ke pangkal batang dan baca besaran sudut β (dalam derajat) atau persen (%) sudut yang dibentuk antara garis bidik dengan bidang datar,

3) Ukur jarak antara si pengukur dan pohon yang dibidik,

4) Tinggi pohon ($T = AC = t1 + t2$)) ditentukan melalui rumusan dasar pengukuran tinggi.

- Bila besaran sudut bidikan menggunakan satuan derajat, maka :

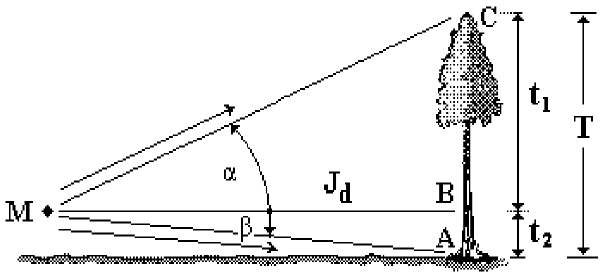
  a) $T = d(\text{tg } \alpha + \text{tg } \beta)$ atau
  b) $T = d(\text{tg } \alpha - \text{tg } \beta)$ atau
  c) $T = d(\text{tg } \beta - \text{tg } \alpha)$ (keterangannya lihat pada dasar kerja alat)

- Bila besaran sudut bidikan menggunakan satuan persen, maka:

$$T = \frac{\%\,MC - \%\,MA}{100} \times Jd$$

Keterangan : % MC = persen bidikan atas (ujung batang)
% MA = persen bidikan bawah (pangkal batang)
T = AC ; 100 = konstanta ; Jd = jarak datar (m)

Ilustrasi langkah pengukurannya seperti Gambar 4.12.



Gambar 4.12. Ilustrasi pengukuran tinggi dengan Clinometer.

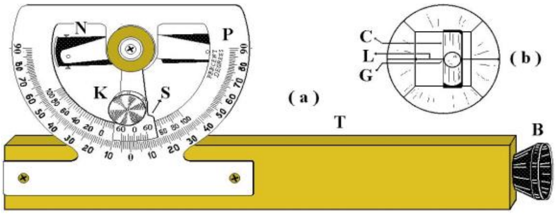
Cara penggunaan alat ukur tinggi di lapangan dapat dilihat pada Gambar 4.13.

Gambar 4.13. Cara Penggunaan alat Suunto Clinometer dengan jarak 15 meter di lapangan

4. Abney Level

a. Bentuk alat

Alat ukur ini sebenarnya merupakan alat ukur lereng, tetapi dapat pula digunakan untuk pengukuran tinggi. Bentuk alat ini berupa tabung persegi panjang yang panjangnya 12,50 cm dan piringan setengah lingkaran berskala dalam satuan persen dan derajat yang dilengkapi dengan nivo seperti pada Gambar 4-13a. Rentangan skala persen dari –100% sampai dengan 100% dan skala derajat dari -90^0 sampai dengan 90^0. Konversi sudut dalam derajat dan persen seperti pada Tabel 4.1.



Gambar 4.14. Abney Level.

Keterangan :

T = tabung persegi panjang
K = skrup pengunci
P = piringan berskala
B = lensa pembidik
S = penunjuk skala
L = logam pipih
C = tabung berisi zat cair
N = nivo
G = gelembung udara

Bila dilihat pada celah pembidik (B) akan tampak seperti Gambar 4.14b, dimana setiap pembidikan diupayakan gelembung udara (G) selalu berada dipertengahan benang (benang merupakan logam pipih).

b. Dasar kerja

Dasar kerja alat pada dasarnya sama seperti pada Clinometer.

c. Cara pemakaian

Langkah-langkah pemakaiannya adalah:

1) Buka (longgarkan) pengunci K agar penunjuk skala S dapat bergerak bebas,

2) Lakukan pembidikan ke puncak pohon atau bebas cabang dan ke pangkal pohon. Saat sasaran ditemukan upayakan pula gelembung udara terletak ditengah-tengah,

3) Kunci penunjuk skala dan baca skala yang diinginkan,

4) Ukur jarak antara si pengukur dan pohon yang dibidik,

5) Tinggi pohon (T = AC) dihitung dengan rumus (lihat dasar kerja alat Clinometer) sebagai berikut :

- Bila skala yang dibaca dengan satuan derajat, maka

  a) $T = d\ (tg\ \alpha + tg\ \beta)$ atau
  b) $T = d\ (tg\ \alpha - tg\ \beta)$ atau
  c) $T = d\ (tg\ \beta - tg\ \alpha)$

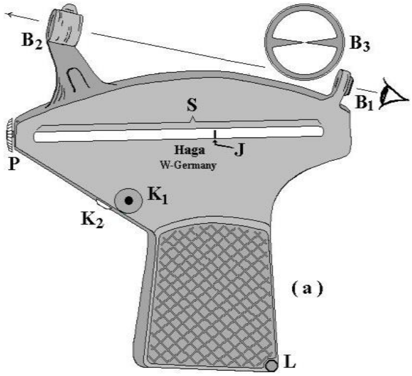
- Bila menggunakan sudut dalam persen, maka :

$$T = \frac{\%\,MC - \%\,MA}{100} \times Jd$$

5. Hagameter

a. Bentuk alat

Hagameter atau lebih umum disebut Haga menyerupai bentuk senjata api (pistol) terbuat dari logam seperti Gambar 4.15.



Gambar 4.15. Hagameter

Keterangan :

B_1 = pembidik dilengkapi dengan prisma

B_2 = pembibik yang dilengkapi pisir

B_3 = bagian dalam dari B_2 yang terlihat dari B_1

P = pemutar batangan berskala (S) bersegi-enam

K = tombol yang membuat jarum J bergerak bebas

L = lubang tempat gantungan tali

Khusus untuk batang berskala berupa batang panjang persegi-enam yang pada sisi panjangnya berisikan skala lereng dengan satuan jarak dalam *kaki* dan meter, satuan sudut dalam persen. Ilustrasi pada ke-enam sisi panjangnya seperti Gambar 4.16.

Gambar 4.16. Skala jarak dan sudut pada batang persegi-enam.

b. Dasar kerja

Dasar kerja alat pada dasarnya serupa dengan Clinometer.

c. Cara pemakaian

Langkah-langkah pemakaiannya sebagai berikut:

1) Putar batang melalui pemutar sampai tampak sisi skala yang diinginkan.
2) Ukur jarak dari pengukur ke pohon ,
3) Arahkan alat ke puncak dan pangkal pohon (bergantian) dan baca hasil penunjukkan jarum skala,
4) Perhitungan tinggi pohon (T = AC) ditentukan sebagai berikut :
    - Bila menggunakan jarak yang telah ditentukan (66 *foot*, 15, 20 25, 30), maka

$$T = BC - BA$$

    - Bila menggunakan sudut dalam persen, maka :

$$T = \frac{\%\ MC - \%\ MA}{100} \times Jd$$

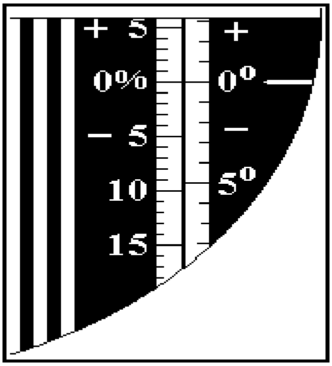
Cara penggunaan alat ukur tinggi di lapangan dapat dilihat pada Gambar 4.17.

Gambar 4.17. Cara Penggunaan alat Hagameter dengan jarak 15 meter di lapangan

6. Spiegel relaskop

a) Bentuk alat

Bentuknya telah disajikan pada Gambar 2.18. Dalam celah pandang (sebelah kanan) terlihat jelas bagian untuk mengukur tinggi (sebenarnya untuk mengukur lereng) yang dapat dilakukan dengan satuan derajat atau satuan persen seperti pada Gambar 4.18.



Gambar 4.18. Sudut dalam celah pandang.

Kesamaan besaran sudut antara derajat dan persen adalah $45^0 \approx 100\%$ (disetarakan). Kisaran skala derajat dari -90^0 sampai dengan $+90^0$. Sedangkan kisaran untuk satuan persen sudut dari –150% sampai dengan +150%. Tanda negatip menunjukkan arah bidikan menurun dan sebaliknya arah bidikan menaik bertanda positip.

b) Dasar kerja

Dasar kerja alat pada dasarnya serupa dengan Clinometer.

c) Cara pemakaian

Langkah-langkah pemakaiannya pada dasarnya serupa dengan Clinometer sebagai berikut :

1) Arahkan alat ke ujung atau pangkal batang sambil menekan tombol penghenti goyangan (Nomor 4 pada Gambar 2.16),

2) Setelah titik sasaran tepat dan kondisi skala tidak bergoyang lagi, penekanan tombol dihentikan dan baca skala,

3) Tinggi pohon (T = AC) dihitung dengan rumus sebagai berikut:

- Bila skala yang dibaca dengan satuan derajat, maka:

  a) $T = d\,(tg\ \alpha + tg\ \beta)$ atau

  b) $T = d\,(tg\ \alpha - tg\ \beta)$ atau

  c) $T = d\,(tg\ \beta - tg\ \alpha)$ (lihat dasar kerja alat Clinometer)

- Bila skala yang dibaca dengan satuan persen, maka:

$$T = \frac{\%\,MC - \%\,MA}{100} \times Jd$$

(keterangannya lihat rumusan tinggi dalam persen pada alat Clinometer)

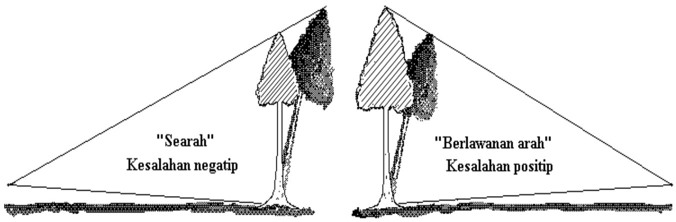
D. Kesalahan Pengukuran Tinggi

Kesalahan pengukuran tinggi pohon dapat disebabkan oleh ketelitian si pengukur, ketelitian alat ukur, waktu pengukuran, biaya pengukuran, kondisi keberadaan pohon maupun kondisi pohon itu sendiri.

Beberapa kesalahan ukur tinggi pohon yang mungkin terjadi karena kondisi pohon itu sendiri adalah pohon berdiri miring, bertajuk lebar atau keberadaan semak belukar di sekitar pangkal batang.

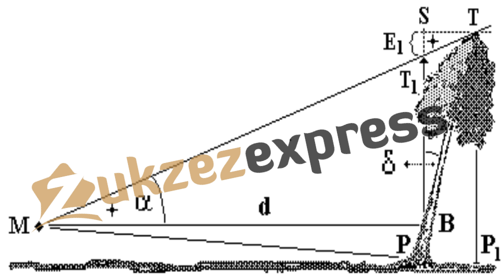
1. Pohon berdiri miring

Bila pohon berdiri miring (condong) akan menyebabkan kesalahan ukur bila arah pandang si pengukur searah atau berlawanan arah dengan miringnya pohon. Kesalahan ukur bersifat negatip bila arah pandang pengukur searah dengan arah kemiringan pohon dan sebaliknya bersifat positip bila arah pandang pengukur berlawanan arah dengan arah kemiringan pohon. Pengertian ini diilustrasikan seperti Gambar 4.19.



Gambar 4.19. Kesalahan pengukuran tinggi pohon berdiri miring.

Untuk kesalahan ukur bersifat negatip menyebabkan hasil pengukuran tinggi pohon menjadi lebih rendah dari tinggi yang sebenarnya dan ilustrasi kesalahan ukurnya seperti pada Gambar 4.20.



Gambar 4.20. Kesalahan ukur tinggi bila arah pandang

Keterangan :

TP_1 = tinggi sebenarnya

T1P = tinggi hasil pengukuran searah dengan arah kemiringan pohon.

Bentuk rumusan kesalahan negatip yaitu:

$$E_t = T_1P - TP_1$$

$$.= T_1P - SP = - T_1S$$

Katakan kemiringan pohon membentuk sudut sebesar δ, maka besar kesalahan secara goneometri (ilmu ukur sudut) sebagai berikut :

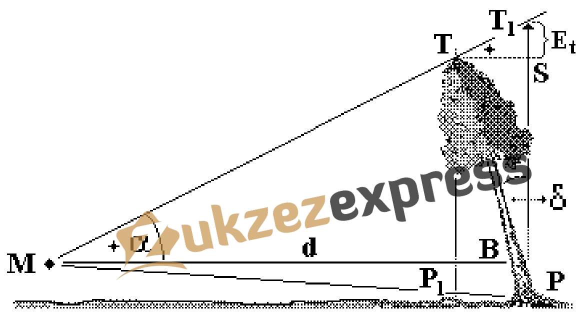
$$\text{Lihat } \Delta PST \;;\quad tg\,\delta = \frac{TS}{PS} \longrightarrow TS = PS\ tg\,\delta$$

Lihat Δ TST_1 sebangun Δ MBT_1; TS sejajar dengan MB, maka $\angle$ T = $\angle$ M = α

$E_t = T_1 S = TS\ tg\ \alpha$; substitusikan TS

$E_t = PS \,.\, tg\ \alpha \,.\, tg\ \delta$

Untuk kesalahan ukur bersifat positip menyebabkan hasil pengukuran tinggi pohon menjadi lebih tinggi dari tinggi yang sebenarnya dan ilustrasi kesalahan ukurnya seperti pada Gambar 4.21.



Gambar 4.21. Kesalahan ukur tinggi bila arah pandang

Keterangan :

TP_1 = tinggi sebenarnya

T_1P = tinggi hasil pengukuran berlawanan arah dengan kemiringan pohon.

Bentuk rumusan kesalahan positip, yaitu :

$E_t = T_1P - TP_1$

$= T_1P - SP = + T_1S$

Katakan kemiringan pohon membentuk sudut sebesar δ, maka besar kesalahan secara goneometri sebagai berikut :

$$\text{Lihat } \Delta\, PST \; ; \quad tg\,\delta = \frac{TS}{PS} \longrightarrow TS = PS\ tg\,\delta$$

Lihat Δ TST_1 sebangun Δ MBT_1; TS sejajar dengan MB, maka $\angle T = \angle M = \alpha$

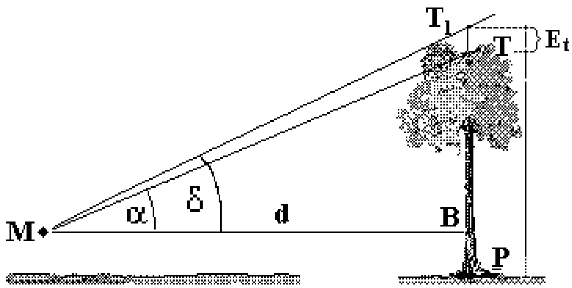
$$E_t = T_1 S = TS\ tg\,\delta \text{ ; substitusikan TS}$$

$$E_t = PS \,.\, tg\,\alpha \,.\, tg\,\delta$$

Cara mengatasi dalam upaya memperkecil kesalahan ukur tinggi pada pohon berdiri miring, arah pandang si pengukur hendaknya tegak lurus dengan kemiringan pohon.

2. Pohon bertajuk lebar

Pohon yang bertajuk lebar menyebabkan ujung batang utama (puncak tajuk) tidak terlihat dengan jelas oleh si pengukur. Saat pembidikan puncak tajuk yang terlihat merupakan sisi bagian tajuk, sehingga menyebabkan tinggi pohon hasil pengukuran lebih tinggi dari tinggi yang sebenarnya dan dinyatakan sebagai kesalahan ukur positip. Ilustrasi kesalahan ukur disajikan pada Gambar 4.22.



Gambar 4.22. Kesalahan ukur tinggi pada pohon bertajuk lebar.

Keterangan :
TP = tinggi sebenarnya
T1P = tinggi hasil pengukuran

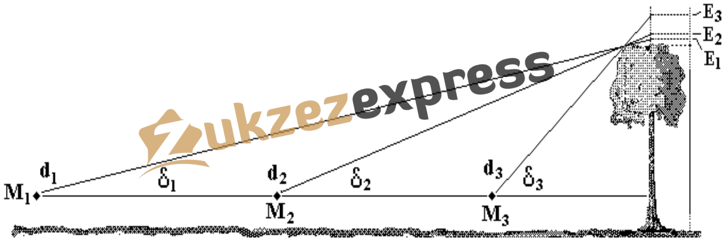
Besar kesalahan ukur secara matematis adalah sebagai berikut :

Lihat Δ MBT; TB = MB tg α dan Δ MBT_1 ; T_1B = MB tg δ

$E_t = T_1P - TP = T_1B - TB = + T_1 T$

$= d (\text{tg } \delta - \text{tg } \alpha)$

Bila jarak ukur terhadap pohon semakin jauh ($d_1 > d_2 > d_3$) menyebabkan sudut pandang yang dibentuk (sudut δ) semakin kecil ($\delta_1 < \delta_2 < \delta_3$) sehingga besar kesalahan ukur tinggi pohon akan semakin yaitu $E_1 < E_2 < E_3$. Sebaliknya billa jarak ukur semakin dekat, sudut δ makin besar menyebabkan besar kesalahan semakin besar pula. Ilustrasi jauh dekatnya jarak ukur terhadap pohon bertajuk lebar disajikan pada Gambar 4.23.

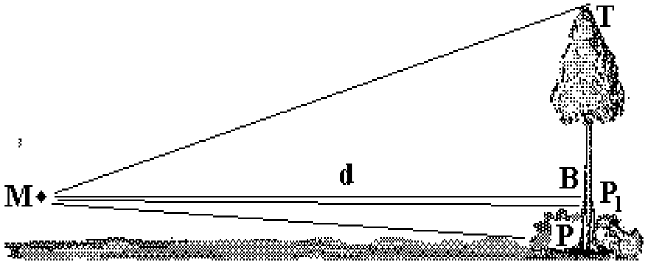


Gambar 4.23. Kesalahan ukur tinggi ditinjau jauh dekatnya jarak ukur.

Upaya untuk memperkecil kesalahan ukur tinggi pohon bertajuk lebar dengan cara ini (memperpanjang jarak ukur) sering menemui kendala lapangan. Upaya lain yang umum dilakukan adalah dengan memperkirakan keberadaan puncak tajuk (ujung batang utama).

3. Daerah bersemak atau berbatu

Kesalahan terjadi bila upaya untuk mengatasi kondisi seperti ini tidak dapat dilakukan. Ilustrasi kesalahan pengukurannya disajikan pada Gambar 4.24.



Gambar 4.24. Kesalahan ukur tinggi pada kondisi bersemak atau berbatu.

Kesalahan yang terjadi adalah kesalahan negatip, karena tinggi pohon lebih rendah dari tinggi sebenarnya dan besaran kesalahan secara matematis dinyatakan sebagai berikut: Lihat Δ MBP ; PB = MB tg β dan Δ MBP_1 ; P_1B = MB tg δ

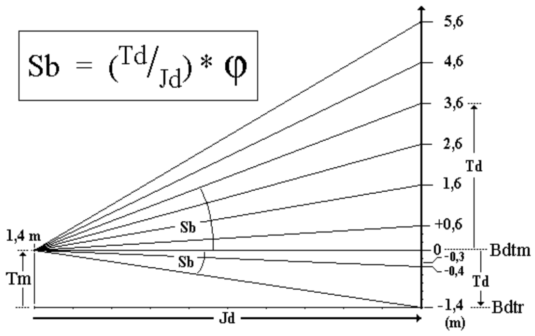
$$E_t = P_1B - PB = -P_1P$$

$$= d\,(\text{tg}\,\delta - \text{tg}\,\beta)$$

Cara mengatasi kesalahan ukur yaitu tambahkan hasil ukuran tinggi yang diperoleh (TP_1) dengan ukuran yang tersisa (diukur langsung) setinggi P_1.P.

E. Pengukuran Letak Diameter Berbagai Ketinggian

Letak diameter dari permukaan tanah (bidang datar) dapat dilakukan dengan berbagai ketinggian. Misalnya ingin mengukur ketinggian diameter dengan jarak tertentu dari pangkal batang sampai tinggi tertentu atau pengukuran seksi batang pohon yang masih berdiri. Alat ukur yang sesuai dengan tujuan pengukuran tersebut adalah Spiegel relaskop. Berdasarkan skala alat akan dibentuk suatu bidang setinggi mata yang sejajar bidang datar (permukaan tanah) dinyatakan sebagai *bidang datar setinggi mata* (Bdsm). Sudut bidik ditentukan dengan rumusan Sb = $({}^{Td}/_{Jd}).\varphi$. Berikut disajikan Gambar 4.25 untuk mengilustrasikan cara pengukuran beberapa ketinggian letak diameter.



Gambar 4.25. Cara pengukuran tinggi letak diameter pohon berdiri.

Keterangan :

Sb	=	sudut bidik
Td	=	jarak titik bidik dari bidang datar
Jd	=	jarak datar
Φ	=	45 atau 100%
Tm	=	tinggi mata
Bdtr	=	bidang datar
Bdtm	=	batas bidang datar setinggi mata

Katakan pengukuran diameter tiap kenaikan 1 meter dari permukaan tanah dan tinggi mata pengukur 1,4 m (Tm). Jarak datar (Jd) terhadap pohon sejauh 10 m. Berdasarkan tinggi mata pengukur (batas bidang datar), maka tinggi pangkal batang yang sebenarnya 0 meter dari permukaan tanah tetapi berdasarkan ketinggian mata/alat dinyatakan setingggi –1,4 m. Dasar perhitungan menggunakan goneometeri dengan ketinggian bidang datar berdasarkan tinggi mata pengukur (pada gambar yang ditunjukkan pada angka 0^0 atau 0%).

Langkah-langkah penentuan letak diameter sebagai berikut :

1. Langkah perhitungan

   a. Arah bidik ke pangkal batang (0 meter dari permukaan tanah)

   $((-1,4)/10) * 45^0 = -6,3^0$ atau $((-1,4)/10) * 100\% = -14\%$

b. Arah bidik satu meter di atas pangkal batang (berjarak 0,4 di bawah Bdtm)

$((-0,4)/10) * 45^0 = -1,8^0$ atau $((-0,4)/10) * 100\% = -4\%$

c. Arah bidik dua meter di atas pangkal batang (berjarak 0,6 di atas Bdtm)

$((0,6)/10) * 45^0 = 2,7^0$ atau $((0,6)/10) * 100\% = 6\%$

d. Arah bidik tiga meter di atas pangkal batang (berjarak 1,6 di atas Bdtm)

$((1,6)/10) * 45^0 = 7,2^0$ atau $((1,6)/10) * 100\% = 16\%$

e. Arah bidik empat meter di atas pangkal batang (berjarak 2,6 di atas Bdtm)

$((2,6)/10) * 45^0 = 11,7^0$ atau $((2,6)/10) * 100\% = 26\%$

f. Demikian seterusnya sampai pada tinggi yang diinginkan.

Hasil perhitungannya direkam ke dalam bentuk tabel seperti Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Penentuan sudut bidik untuk kenaikan tinggi tiap 1 meter

Tinggi (m)		**Sudut Bidik**		**Diameter (cm)**	**Keterangan**
Dpt	Td	derajat (^{0})	persen (%)		
………	………	…………	…………		
10	8,6	38,7	86		
9	7,6	34,2	76		
8	6,6	29,7	66		
7	5,6	25,2	56		
6	4,6	20,7	46		
5	3,6	16,2	36		
4	2,6	11,7	26		
3	1,6	7,2	16		
2	0,6	2,7	6		
1,4	0	0	0		Bid.datar setinggi mata
1,3	-0,3	-1,35	-3		Setinggi dada
1	-0,4	-1,8	-4		
0	-1,4	-6,3	-14		Permukaan tanah

Keterangan:

Dpt = tinggi/jarak dari permukaan tanah
Td = tinggi/jarak titik bidik dari bidang datar setinggi mata (Bdtm)
— = tanda negatip menunjukkan berada di bawah Bdtm

2. Langkah pelaksanaan

a. Pengukuran dilaksanakan dengan jarak 10 meter dan bidik batang pohon tiap kenaikan 1 meter dengan satuan sudut yang diinginkan (derajat atau persen).

b. Bersamaaan dengan pengukuran tinggi lakukan pengukuran diameter (baca Bar).

c. Volume diperoleh dari hasil perhitungan rumus (rumus Brereton), menghitung luas secara planimeter atau banyaknya dotgrid yang terdapat di bawah kurva (taper curva).

Memperhatikan langkah perhitungan dalam menentukan ketinggian letak diameter dapat dirumuskan bahwa

$$Sb = (^{Td}/_{Jd}) \cdot \varphi$$

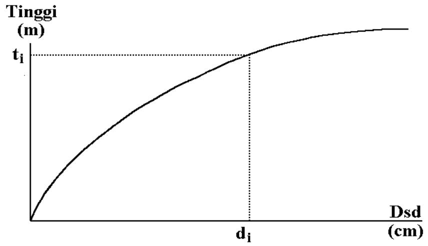
dimana : Sb = sudut bidik Jd = jarak datar

Td = jarak titik bidik dari Bdtm φ = sudut (45^0 atau 100%)

F. Pendugaan Tinggi Pohon

Untuk jenis-jenis pohon tertentu terdapat hubungan yang erat antara diameter setinggi dada (Dsd) terhadap tingginya. Beragamnya hubungan diameter dan tinggi karena adanya perbedaan jenis. Sedangkan perbedaan dalam jenis yang sama disebabkan kesuburan tanah yang berbeda.

Keeratan hubungan antara diameter dan tinggi sangat berguna dalam inventarisasi hutan dalam pendugaan tinggi yang biasanya didasarkan pada diameter setinggi dada. Untuk memperoleh hubungan tersebut dilakukan terlebih dulu pengambilan pohon-pohon contoh (*sample*) dan selanjutnya dicari hubungan fungsi melalui analisis regresi. Penggambaran grafik hubungan tersebut secara sederhana disajikan pada Gambar 4.26.



Gambar 4.26. Grafik hubungan tinggi dan diameter setinggi dada.

Berdasarkan data diameter hasil pengukuran setinggi dada dapat dilakukan proyeksinya ke sumbu y (tinggi) sehingga tinggi pohon diketahui.

Persamaan regresi yang biasanya digunakan dan menggambarkan keeratan hubungan dua sifat adalah :

$$\hat{T} = b_0 + b_1 (Dsd)$$

$$b_0 = T - b_1 (Dsd)$$

$$b_1 = \frac{\Sigma (T.Dsd) - \dfrac{(\Sigma T)(\Sigma Dsd)}{n}}{\Sigma Dsd^2 - \dfrac{(\Sigma Dsd)^2}{n}}$$

dimana: T = tinggi rata-rata
D = diameter rata-rata)
N = banyaknya pengamatan

Bila ragam Dsd cukup besar, maka persamaan regresi bentuk kuadratik atau logaritma dapat dicoba. Kedua persamaan regresi dimaksud adalah :

$$\hat{T} = b_0 + b_1 (Dsd) + b_2 (Dsd)^2$$

$$\log \hat{T} = b_0 + b_1 \log (Dsd)$$

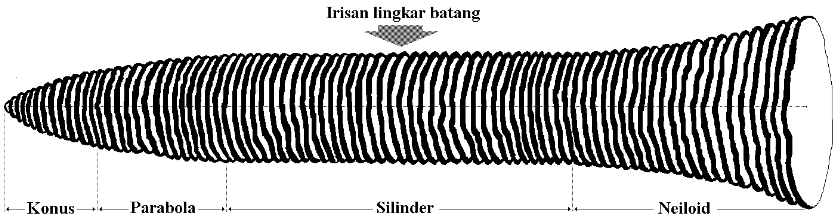
BAB 5

KOREKSI BENTUK

A. Bentuk Batang Pohon

Setiap jenis pohon pada dasarnya mempunyai bentuk batang yang khas. Namun demikian karena pengaruh umur dan kondisi lingkungan dapat memungkinkan bentuk batang beragam untuk jenis yang sama. Bentuk batang akan terlihat berbeda pada pohon-pohon yang tumbuh rapat dalam hutan dibanding pohon-pohon yang tumbuh pada tempat terbuka meskipun mempunyai umur dan jenis sama. Pohon-pohon yang tumbuh di tempat terbuka mempunyai tajuk dan diameter lebih berkembang dibanding pohon-pohon yang tumbuh rapat di dalam hutan.

Bentuk batang berkaitan erat dengan perubahan ukuran bentuk lingkar batang dan letaknya untuk berbagai ketinggian. Kenyataannya irisan lingkar batang tidak berupa lingkaran sempurna. Bila tiap irisan lingkar batang disusun, maka akan diperoleh perubahan bentuk batang yang teratur dari pangkal sampai puncak. Ukuran irisan lingkar batang inilah yang menyebabkan batang tidak pernah silinder. Pada tinggi tertentu akan terjadi pengelompokan irisan lingkar batang karena akibat perubahan ukuran lingkaran dari lingkar batang itu sendiri. Pengelompokan tersebut sebenarnya membentuk beberapa benda putar sempurna (BPS) yang terpancung (*frustrum*). Pengertian susunan lingkar batang yang membentuk beberapa frustrum dan akhirnya menjadi bentuk batang diilustrasikan pada Gambar 5.1.



Gambar 5.1. Susunan irisan lingkar batang.

Dari uraian di atas jelas bahwa mengingat volume batang ditentukan berdasarkan rumus silinder, sedangkan bentuk batang tidak silinder maka dalam penentuan volume batang (pohon) perlu diadakan koreksi yang umumnya dikenal dengan sebutan faktor bentuk (*form factor*). Faktor bentuk yang dikenal selama ini bukan satu-satu faktor koreksi yang digunakan untuk mengoreksi bentuk batang yang tidak silinder. Faktor koreksi lain nya adalah kusen bentuk (*form quetient*), kelas bentuk. Jadi faktor bentuk (f_f) merupakan salah satu faktor koreksi bentuk batang.

B. Faktor Bentuk

Besar kecilnya faktor bentuk tergantung dari bentuk batang pohon yang bersangkutan dan perbandingan antara diamater ujung dan pangkal batang. Semakin runcing bentuk batang maka semakin kecil pula besaran faktor bentuk atau sebaliknya semakin cenderung bentuk batang ke arah bentuk silinder maka besaran faktor bentuk semakin besar. Di Indonesia menggunakan faktor bentuk sebesar 0,7 yang bersumber dari Banyard (1973). Ia menyatakan bahwa untuk jenis-jenis pohon tropis yang belum tersedia *Tabel Faktor Bentuk* dapat menggunakan nilai bentuk sebesar 0,7.

1. Pengertian faktor bentuk

Faktor bentuk (*form factor*) merupakan suatu bilangan/angka (tingkatan ratio) atau perbandingan antara volume batang (pohon) terhadap volume silindernya dengan tinggi dan diameter atau bidang dasar yang sama.

Secara matematis nilai faktor bentuk diperoleh dari rumusan volume pohon yaitu $V = \frac{1}{4} \pi D^2 T f$. Sehingga nilai faktor bentuk adalah

$$f = \frac{V}{\frac{1}{4} \pi D^2 T}$$

Dari rumusan di atas jelas bahwa pendekatan rumus volume pohon berasal dari rumus volume silinder ($\frac{1}{4} \pi D^2 T$). Didasarkan pengertian bahwa batang pohon tidak silinder, maka perlu dikoreksi sebesar f yang dinyatakan sebagai faktor bentuk. Dari pengertian tersebut berarti bahwa pengertian koreksi ditujukan pada bentuk batang yang tidak silinder dan tidak berarti terhadap volume. Adanya pengertian koreksi terhadap volume, sebenarnya akibat dari koreksi bentuk batang yang tidak silinder menyebabkan pula terjadi koreksi pada volume batang. Jadi tekanan utama pengertian faktor bentuk adalah terhadap bentuk batang dan bukan terhadap volume batang.

2. Dasar penentuan faktor bentuk

Bentuk batang pohon didekati dengan bentuk silinder, sehingga perlu dikoreksi dengan suatu tetapan yang dinyatakan sebagai *faktor bentuk* dan bermakna sebagai koreksi bentuk batang pohon yang tidak silinder. Dari rumusan volume pohon diperoleh nilai faktor bentuk sebagai berikut:

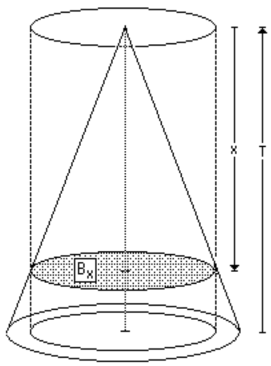
$$f_f = \frac{V_{Pohon}}{{}^{\pi}/_{4}.\ D^2.\ T}$$

Berdasarkan rumusan benda putar diperoleh luas bidang dasar sejauh X dari puncak adalah $B_X = \pi . y^2 = \pi . c . x$. Bila tinggi dinyatakan sebesar T, maka:

$$V = \int_0^H \pi \; c \; x^r \; d_x = \left[\frac{\pi . c}{r + 1} x^{r+1}\right]_0^H$$

$$= \frac{\pi . c}{r + 1} T^{r+1}$$

Bentuk batang pohon dilihat dari bentuk silinder diilustrasikan seperti Gambar 5.2.



Gambar 5.2. Dasar penentuan faktor bentuk.

$$V = B_x . T = \pi . c . x^r . T$$

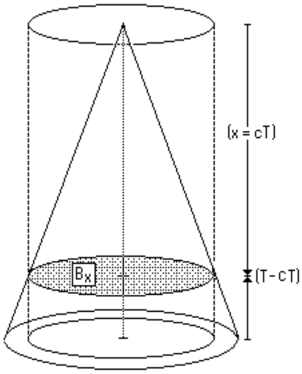
Karena perhitungannya menggunakan rumus silinder, maka perlu dikoreksi sebesar f_x.

$$V = V_s . f_x \longrightarrow f_x = \frac{V}{V_s} = \frac{V}{B_x . T}$$

$$f_x = \frac{\dfrac{\pi . c}{r + 1} T^{r+1}}{\pi . c . x^r . T} = \frac{1}{r + 1} \left(\frac{T}{x}\right)^r$$

Berarti faktor bentuk f_x bersifat tidak tetap, tergantung dari tinggi pohon (T), x (letak luas bidang dasar dari puncak) dan koefisien r (bentuk). Agar bentuk dasar rumusan tersebut bersifat lebih umum, maka diubah ke dalam bentuk normal yang dinyatakan sebagai *Faktor*

Bentuk Normal yang ilustrasikan seperti Gambar 5.3.



$$f_x = \frac{1}{r+1}\left(\frac{T}{x}\right)^r$$

$$f_x = \frac{1}{r+1}\left(\frac{T}{cT}\right)^r$$

$$= \frac{1}{(r+1)\,c^r}$$

$$= \lambda_c$$

Gambar 5.3. Faktor bentuk normal.

Bentuk λ_c tergantung dari koefisien r, tetapi bersifat khas untuk bentuk benda atau suatu jenis. Memperhatikan bentuk persamaan :

$$f_X = \frac{V}{B_X \;.\; T} \quad \text{dan } x = c\,.\,T, \text{ berarti } f_{cT} = \frac{V}{B_{cT} \;.\; T} = \lambda_c\text{, maka}$$

$$\lambda_c = \frac{V}{B_{cT} \;.\; T}$$

dimana : cT = x diukur dari puncak

T = tingggi diukur dari bidang datar

Berarti kedudukkan B (bidang dasar) dari permukaan tanah setinggi (T - cT), sehingga :

$$\lambda_c = \frac{V}{B_{(T-cT)}\,T}$$

dimana : V = volume batang dihitung berdasarkan seksi (V_{SS}).

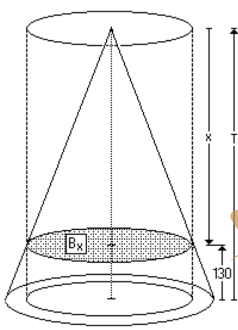
Berdasarkan faktor bentuk normal tersebut dikembangkan menjadi *Faktor Bentuk Setinggi Dada* yang berarti sebagai faktor koreksi pada volume pohon berdiri.

$$f_x = \frac{1}{r+1} \left(\frac{T}{x}\right)^r$$

$$T - x = 130 \longrightarrow x = T - 130$$

$$f_{130} = \frac{1}{r+1} \left(\frac{T}{T - 130}\right)^r$$

Persamaan tersebut masih tergantung dari koefisien r dan tinggi (T). Berarti faktor bentuk setinggi dada (f_{130}) bersifat tidak khas untuk semua benda putar, tetapi merupakan faktor koreksi volume pohon berdiri yang dihitung berdasarkan rumus silinder. Sejalan dengan faktor bentuk normal diperoleh faktor bentuk setinggi dada (setinggi 130 cm dari permukaan tanah) seperti disajikan pada Gambar 5.4.



$$f_{130} = \frac{V_{ss}}{B_{130} \cdot T}$$

$$V_{ss} = \sum_{i=1}^{n} V_i$$

Gambar 5.4. Faktor bentuk setinggi dada.

V_i = volume seksi ke i

Panjang seksi disesuaikan dengan bentuk frustrum

Khusus untuk penentuan volume seksi batang pohon berdiri akan dijelaskan dalam “Penentuan volume pohon berdiri” yang diukur secara seksi.

3. Persamaan faktor bentuk

Besaran nilai faktor bentuk disamping dapat diperoleh dengan cara di atas, dapat pula disusun melalui persamaan regresi berganda (Prodan dalam Loetsch, 1973):

$$f = b_0 + b_1.d + b_2.d^2$$

$$f = b_0 + b_1.t + b_2 \left(\frac{t}{d}\right)$$

$$f = b_0 + b_1 \left(\frac{1}{t}\right) + b_2 \left(\frac{1}{d^2}\right) + b_3 \left(\frac{1}{d^2.t}\right)$$

$$\log f = b_0 + b_1.\log d + b_2.\log t$$

dimana : b = koefisien regresi
d = diameter setinggi dada
t = tinggi pohon (dari pangkal sampai tajuk)

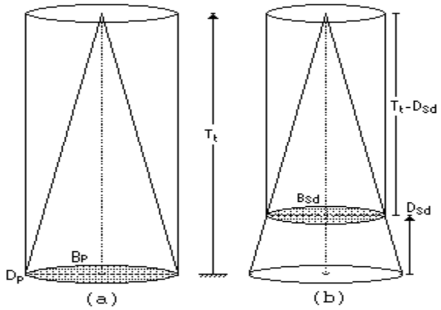
4. Klasifikasi faktor bentuk

Berbagai pengertian faktor bentuk diklasifikasikan (Belyea, 1950; Simon, 1996) sebagai berikut :

a. Ketinggian letak diameter

Berdasarkan letak pengukuran diameter pohon berdiri, yaitu :

1) Faktor Bentuk Absolut (*Absolute Form Factors*); Faktor bentuk ini didasarkan pada diameter pangkal batang atau pada setinggi dada. Sedangkan volume batang dihitung pada bagian atas diameter tersebut (Gambar 5.5a & 5.5b).

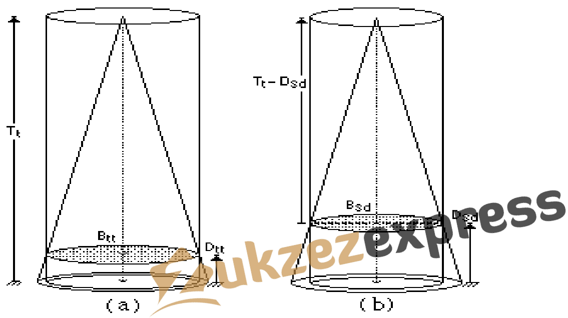


Gambar 5.5. Faktor Bentuk Absolut

2) Faktor Bentuk Normal (*Normal Form Factors*); Letak diameter didasarkan pada ketinggian tertentu. Dua macam ketinggian

diameter yang lazim dipakai yaitu $^1/_{10}$ atau $^1/_{20}$ dari tinggi total. Volume kayu dihitung mulai dari pangkal pohon. Faktor bentuk ini adalah juga *Faktor Bentuk Normal Hohenadl* (Gambar 5.6a).

3) Faktor Bentuk Setinggi Dada (*Breast Height Form Factors*); Faktor bentuk ini berdasarkan letak diameter setinggi dada. Faktor bentuk ini tidak mencerminkan bentuk batang yang nyata dan secara teoritis tidak dapat dibandingkan dengan faktor bentuk yang lain. Kelebihannya hanya mudah (praktis) dalam pelaksananaan pengukuran di lapangan. Volume batang dihitung mulai pangkal batang (Gambar 5.6b).



Gambar 5.6. Faktor Bentuk Normal (a) dan Setinggi Dada (b).

b. Tinggi Batang Pohon

Berdasarkan penggunaan panjang batang yang beragam, yaitu :

1) Faktor Bentuk Perdagangan (*Merchantable Form Factors*); Bila tinggi pohon yang digunakan dalam pendugaan volume samadengan tinggi atau panjang kayu perdagangan.

2) Faktor Bentuk Batang (*Stem Form Factors*); Bila dalam penentuannya menggunakan panjang seluruhnya dari tinggi total.

3) Faktor Bentuk Pohon (*Tree Form Factors*); Bila tinggi total digunakan dalam pendugaan volume, termasuk pangkal pohon, kayu bulat (batang), pucuk dan cabang.

C. Kusen Bentuk

Perhatian utama pada penentuan faktor bentuk adalah perbandingan volume yaitu antara volume aktual batang pohon terhadap volume silindernya. Sedangkan pada kusen bentuk lebih menekankan pada perbandingan dua diameter pada ketinggian yang berbeda. Keduanya sama-sama menjelaskan tentang bentuk batang.

1. Pengertian kusen bentuk

Kusen bentuk merupakan perbandingan antara dua diameter batang yang diukur pada ketinggian yang berbeda dari bidang datar. Sebagai pembanding biasanya menggunakan diameter setinggi dada, sehingga pengertian kusen bentuk (f_q) secara sederhana dinyatakan sebagai :

$$\text{Kusen bentuk } (f_q) = \frac{\text{diameter pada ketinggian tertentu } (D_{tt})}{\text{diameter setinggi dada (Dsd)}}$$

Pada awalnya kosen bentuk dihitung berdasarkan diameter pada setengah tinggi pohon yang dibandingan dengan diameter setinggi dada yaitu:

$$f_q = \frac{D_{0,5\,T}}{Dsd}$$

Kelemahan persamaan kusen bentuk ini adalah bila pohon tidak begitu tinggi (pendek), maka nilainya mendekati 1(satu).

2. Perkembangan kusen bentuk

Dalam perkembangannya diperoleh beberapa pengertian kusen bentuk sebagai berikut :

a. Kusen bentuk absolut (*absolute form quotient*)

Kusen bentuk ini dikembangkan tahun 1910 oleh Jonson (Simon, 1993) dimana tinggi pohon tidak dari permukaan tanah, tetapi dari batas setinggi dada. Kusen bentuk ini yang banyak digunakan hingga sekarang. Tinggi diameter yang akan dibandingkan dengan tinggi diameter setinggi dada adalah:

$$D\left[\frac{T - Tsd}{2} + Tsd\right] = D\left[\frac{T + Tsd}{2}\right]$$

Misal tinggi pohon 20 meter, maka diameter yang akan dibandingkan pada ketinggian:

$$D\left[\frac{20 + 1{,}30}{2}\right] = 10{,}65 \text{ m dari pangkal pohon}$$

Jadi kusen bentuknya adalah $f_q = \dfrac{D_{10,65}}{D_{1,30}}$

b. Kusen bentuk asli (*natural form quotient*)

Hohenadl mengembangkan kusen bentuk di atas guna kepentingan pendugaan volume pohon dengan cara batang pohon dibagi menjadi 5 bagian sama panjang. Pembagian tersebut melukiskan hubungan antara diameter batang pada ketingggian 0,9, 0,7, 0,5, 0,3 dan 0,1 terhadap tinggi total. Kusen bentuk ini dikenal pula dengan sebutan "kusen bentuk HOHENADL". Kusen bentuk ini oleh Wullfing pada tahun 1932 digunakan pada penyusunan tabel tegakan hutan jati di Indonesia (Jawa).

c. Kusen bentuk GIRARD

Memperhatikan kelemahan kusen bentuk HOHENADL (diameter dengan kulit) oleh Girard dan Gevorkiantz mengajukan alternatif dimana diameter diukur tanpa kulit pada ketinggian 16 *foot* (± 4,877 m) dibandingkan diameter setinggi dada dengan kulit. Perkiraan tinggi tunggak 1 *foot* dan 3 *inch* kehilangan yang diperkenankan (*trimming*), sehingga ketinggian yang diukur tanpa kulit 17 ft 3 inc. (± 5,258 m)

$$D\left[\frac{T - Tsd}{2} + Tsd\right] = D\left[\frac{T + Tsd}{2}\right]$$

Ukuran 16 *foot* merupakan panjang balok standar yang digunakan di Amerika Serikat. Koreksi bentuk berupa kusen bentuk GIRARD ini hingga sekarang lebih umum digunakan di Amerika Serikat. Hutan pinus *scot* di Swedia menggunakan kusen bentuk dengan perbandingan antara diameter setinggi 2,30 m dengan diameter setinggi dada (1,30 m) menunjukkan hasil yang memuaskan. Hutan alam jati di Thailand dengan perbandingan diameter setinggi 5,50 m dengan diameter setinggi dada.

d. Kelas bentuk

Pengertian kelas bentuk ini sebenarnya merupakan pengelompokan kusen-kusen bentuk ke dalam satu rentangan nilai dan dinyatakan sebagai satu kelas bentuk tertentu. Misal nilai dari sekelompok kusen bentuk berada antara 0,675 dan 0,725, maka dapat dinyatakan sebagai kelas bentuk 0,70.

Konsep penyusunan kelas bentuk sebagai berikut:

1) Titik Bentuk

   Titik yang dimaksud adalah titik gravitasi tajuk pohon. Tinggi tersebut dinyatakan dalam persen terhadap tinggi pohon dan dinamakan sebagai "Kelas Bentuk". Kelemahannya bila tegakan bertajuk rapat sehingga sukar menentukan posisi titik pusat tajuk. Tetapi pada tegakan bertajuk jarang atau akibat pemangkasan juga akan mempersulit dalam menduga posisi titik pusat tajuk.

2) Perbandingan (ratio) tinggi letak cabang mati terhadap tinggi pohon total dalam persen.

3) Perbandingan (ratio) diameter pada ketinggian tertentu terhadap diameter setinggi dada dalam persen.

Dari ketiga konsep tersebut ternyata konsep ketiga yang erat kaitan dengan koreksi bentuk batang. Karena dalam rumusannya berkaitan erat dengan diameter, maka koreksi "Kelas Bentuk" dinyatakan pula sebagai "Kusen Diameter"

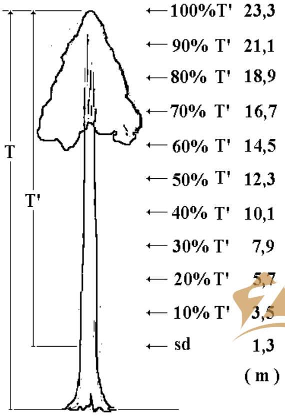
$$\text{Kusen diameter} = \frac{D_{\%T'}}{Dsd}$$

dimana : T' = Tt – Tsd (tinggi total – ketinggian setinggi dada)

% = ketinggian letak diameter dari Tsd

Misal untuk $D_{10\%T'}$ berarti kusen diameternya adalah $\frac{D_{10\%T'}}{Dsd}$

Kusen diameter diilustrasikan seperti pada Gambar 5.7.



Bila diperoleh T = 23,30 m, maka T' = (23,30 – 1,30) = 22 m dan 10%T' = 2,2 m. Jadi pengukuran diameter dilakukan mulai setinggi dada dan pengukuran diameter berikutnya setiap kenaikan 2,2 m yaitu ketinggian 1,3 m, 3,5 m, 5,7 m dan seterusnya hingga 23,30 cm.

Gambar 5.7. Penentuan kusen diameter.

Selanjutnya kelas bentuk pohon ditentukan dengan persamaan :

$$\text{Kelas bentuk} = \frac{D_{50\%,T'}}{Dsd}$$

Diameter pada tiap ketinggian dihitung dari persentasenya terhadap diameter setinggi dada. Misal Dsd = 88 cm dan pada ketinggian 10%T' atau 3,5 m ternyata diameternya sebesar 98% terhadap Dsd. Jadi diameter pada ketingggian 3,5 m adalah (98% x 88) cm = 86,24 cm. Untuk menentukan diameter berikutnya dilakukan dengan cara yang sama.

BAB 6

VOLUME POHON

A. Pengertian Volume

Pengertian volume mengandung arti hasil penggandaan tiga ukuran (dimensi) dari suatu benda yang berbentuk ruang. Batang pohon, cabang dan ranting juga merupakan benda berbentuk ruang. Sehingga pengertian volume pohon merupakan volume batang termasuk cabang dan ranting. Pengertian volume pohon yang umum dibicarakan lebih ditekankan pada batang pohon yang masih berdiri dan volume batang pohon yang sudah rebah. Keterkaitan dengan kulit maka volume pohon mengandung dua arti yaitu volume pohon termasuk kulit dan volume pohon tanpa kulit.

Pemanfaatan sebatang pohon lebih cenderung terhadap kayunya karena merupakan bagian batang yang laku dijual (*merchantable volume*). Sehingga arti volume pohon (batang masih berdiri) lebih tepat sebagai volume kayu sebatang pohon. Di Indonesia (Dephut, 1997) umumnya volume pohon dinyatakan tanpa kulit.

Pengertian volume kayu sebatang pohon yang umum digunakan antara lain :

1. Volume tunggak (*Stump Volume*) merupakan volume kayu yang terdiri dari akar dan pangkal pohon sampai ketinggian tertentu (tunggak). Tinggi tunggak bervariasi antara 0.8 sampai 1 m dan tidak jarang melebihi 1 meter karena kondisi lapangan,

2. Volume kayu batang (*Volume of stem*) merupakan volume kayu di atas tunggak sampai batas tajuk. Bagian ini merupakan batang utama pohon yang menyusun volume kayu sampai percabangan pertama,

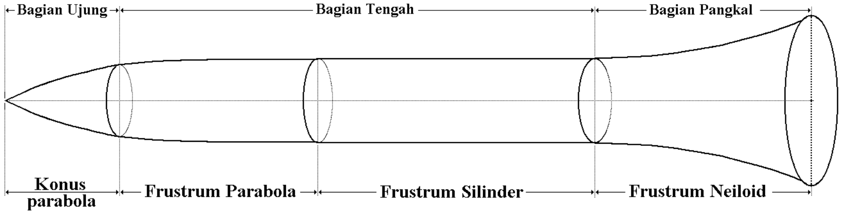
3. Volume kayu tebal (*Volume of Thick Wood*) merupakan volume kayu di atas tunggak sampai pada titik dimana diameter 7 cm dengan kulit yang menyusun volume kayu,

4. Volume kayu pohon (*Volume of Tree Wood*) merupakan volume kayu yang terdapat di seluruh pohon mulai dari pangkal batang sampai ujung ranting pohon.

B. Dasar Penentuan Volume

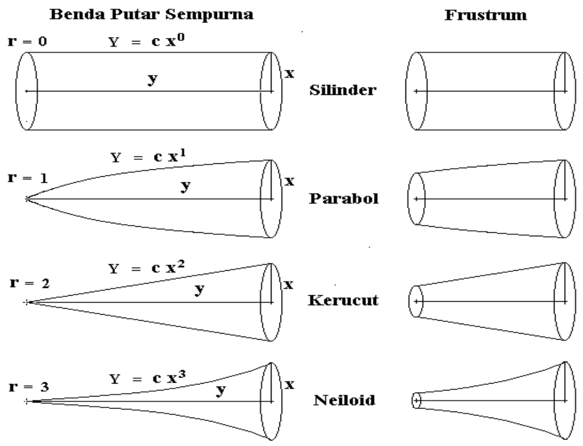
1. Bentuk benda putar

Bila kita perhatikan batang pohon utama secara utuh ternyata merupakan kumpulan tersusun dari benda-benda ruang yang terbentuk hasil perputaran grafik garis pada pada suatu sumbu. Kumpulan benda-benda ruang yang tersususn pada batang pohon secara utuh diilustrasikan pada Gambar 6.1.



Gambar 6.1. Bentuk geometrik penampang bujur batang.

Semua pohon mempunyai bentuk batang yang mendekati benda-benda putar sebagai hasil perputaran garfik garis pada sumbu putarnya dengan persamaan $Y = c\ p\ x^r$. Setiap bentuk benda putar berbeda-beda tergantung dari besarnya nilai r. Beberapa bentuk benda putar berdasarkan nilai r seperti Gambar 6.2.



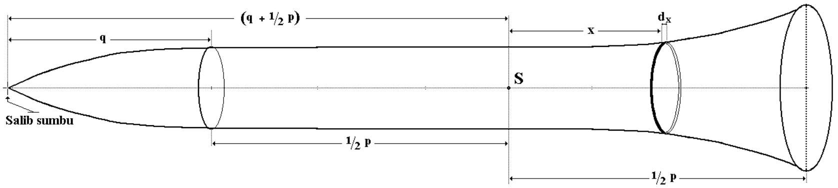
Gambar 6.2. Bentuk-bentuk benda putar.

Keempat benda ruang tersebut di atas (sebelah kanan) merupakan bentuk benda putar lainnya yang diistilahkan sebagai frustrum. Khusus untuk bentuk silinder (sebelah kiri) walau tanpa dipancung tetap berbentuk frustrum silinder.

Mengingat setiap batang pohon merupakan kumpulan tersusun benda-benda putar yang berlainan bentuknya, maka dalam menentukan volumenya perlu dilakukan penyesuaian. yaitu berdasarkan irisan silinder dan rataan bidang dasar.

a. Irisan silinder

Untuk mempermudah penurunan rumus volume secara teoritis terhadap benda putar sempurna maupun frustrumnya, maka titik nol salib-sumbu dipindahkan ke titik S yang terletak dipertengahan seperti disajikan pada Gambar 6.3.



Gambar 6.3. Penyesuaian volume berdasarkan irisan silinder.

Titik S berjarak sebesar (q + ½ p) dari nol salib-sumbu (q = panjang bagian puncak pohon yang dipancung; p = panjang frustrum). Berdasarkan kedudukan titik S (titik nol salib-sumbu yang baru) diperoleh garis persamaan frustrum sebesar yaitu :

$$\mathbf{Y^2 = c \, \{ (q + ½\, p) + x \}^r}$$

Suatu irisan berjarak x dari titik S berbentuk silinder dengan panjang dx, maka volume irisannya adalah :

$$\mathbf{V_{is} = \pi \, y^2 \, dx}$$

$$\mathbf{= \pi \, c \, \{ (q + ½\, p) + x \}^r}$$

dimana : V_{is} = volume irisan silinder

$\pi \, y^2$ = luas penampang lintang

dx = lebar irisan silinder

Volume frustrum keseluruhan merupakan hasil penjumlahan seluruh frustrum yang menyusun frustrum tersebut dan besarnya nilai dihitung dengan rumusan berikut :

$$V_f = \int_{-½\, p}^{+½\, p} \pi \, c \, \{ (q + ½\, p) + x \}^r$$

dan selanjutnya diuraikan secara binomial dan teori integral sehingga menjadi:

$$V_f = \pi \, c \, \{ (q + ½\, p)^r \, . \, p + \frac{r(r-1)}{2} (q + ½\, p)^{r-2} \, . \, {}^1/_{12} \, p^3 \}$$

dimana : V_f = volume frustrum dengan panjang p

c = konstanta

q = panjang potongan benda putar sempurna dari puncak

p = panjang frustrum

r = koefisien korelasi

Volume benda putar sempurna (nilai q = 0) dihitung dengan rumusan berikut:

$$V_{bs} = \pi\ c\ \{ (\tfrac{1}{2}\,p)^r\ .\ p + \frac{r(r-1)}{2} (\tfrac{1}{2}\,p)^{r-2}\ .\ {}^{1}/_{12}\ p^3 \}$$

dimana: V_{bs} = volume benda putar sempurna

Untuk menentukan besaran volume benda-benda putar sesuai dengan bentuk dan besarnya nilai r disajikan seperti Tabel 6-1.

Tabel 6.1. Rumusan volume benda-benda putar sesuai bentuk dan nilai r

Bentuk benda	r	Rumus volume	
		BP Sempurna	Frustrum
Silinder	0	$\pi\ c\ p$	$\pi\ c\ p$
Parabola	1	$\pi\ c\ p^2$	$\pi\ c\ p\ (q + \tfrac{1}{2}\,p)$
Kerucut	2	$\pi\ c\ p^3$	$\pi\ c\ p\ \{ (q + \tfrac{1}{2}\,p)^2 + \tfrac{1}{2}\,p^2 \}$
Neiloid	3	$\pi\ c\ p^4$	$\pi\ c\ p\ (q + \tfrac{1}{2}\,p)\ \{(q + \tfrac{1}{2}\,p)^2 + \tfrac{1}{4}\,p^2 \}$

Secara sederhana rumusan di atas dapat disajikan seperti Tabel 6.2.

Tabel 6.2. Rumusan volume benda-benda putar secara matematis

Bentuk Benda	Rumus volume	
	BP Sempurna	Frustrum
Silinder	Ba .T	1) Ba . Tf 2) $^1/_4\ .\ \pi\ .\ D^2\ .\ P$
Parabola	½ (Ba . T)	1) Tf . Bt 2) ½ Tf (Bp + Bu) 3) $^1/_8\ .\ \pi\ .\ (D^2 + 2.D.d + d^2) \cdot P$
Kerucut	⅓ (Ba . T)	1) ⅓ Tf {Bp + √ (Bp.Bu) + Bu } 2) $^1/_{12}\ .\ \pi\ .\ (D^2 + 2.D.d + d^2)\ .\ P$
Neiloid	¼ (Ba . T)	1) ¼ Tf {Bp + √ $(Bp^2.Bu)$ + √ $(Bp.Bu^2)$ + Bu} 2) $^{(\pi.P)}/_{20}\ .\ (D^2 + D^{3/2}.d^{1/2} + D.d + D^{1/2}.d^{2/3} + d^2)$
Neiloid, Cone, Parabola		1) $^1/_6$ Tf (Bp + 4 Bt + Bu)

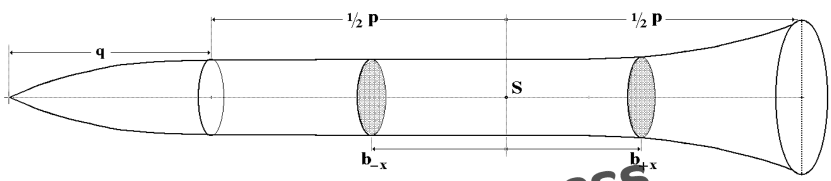
b. Rataan bidang dasar

Bila dalam penentuan volume didasarkan pada rataan bidang dasar (penampang lintang) dan panjang, maka akan diperoleh rumusan volume frustrum sebagai berikut :

$$V'_f = \bar{b} \, . \, p$$

dimana V'_f = volume frustrum; $\bar{b}$ = rataan bidang dasar; p = panjang.

Rumusan volume tersebut secara teoritis akan menyebabkan bias sebesar (V'– V). Besaran bias yang diperoleh diuraikan seperti Gambar 6.4.



Gambar 6.4. Penyesuaian volume berdasarkan rataan bidang dasar.

Titik S berjarak sebesar (q + x) dari nol salib-sumbu (q = panjang bagian puncak pohon yang dipancung; x = jarak bidang dasar sejauh x ke kiri dan ke kanan). Tampak pada gambar dua bidang dasar yaitu b_{-x} dan b_{+x} dengan luas masing-masing dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$b_{-x} = \pi \, y_{-x}^2 = \pi \, . \, c \, (q + ½\, p + x)^r$$

$$b_{+x} = \pi \, y_{+x}^2 = \pi \, . \, c \, (q + ½\, p + x)^r$$

Selanjutnya rataan bidang dasarnya diuraikan secara teori Binomial dan diperoleh rumusan sebagai berikut :

$$\bar{b} = \frac{(b_{-x} + b_{+x})}{2} = \pi \, . \, c \, \left\{(q + ½\, p)^r + \frac{r(r-1)}{2} (q + ½\, p)^{r-2} \, . \, x^2 \right\}$$

Melalui substitusi diperoleh rumusan volume frustrum sebagai berikut :

$$V'_f = \bar{b} \,.\, p$$

$$= \pi \,.\, c \,.\, p \left\{(q + \tfrac{1}{2} p)^r + \frac{r(r-1)}{2} (q + \tfrac{1}{2} p)^{r-2} \,.\, x^2 \right\}$$

$$V'_{bs} = \pi \,.\, c \,.\, p \left\{(\tfrac{1}{2} p)^r + \frac{r(r-1)}{2} (\tfrac{1}{2} p)^{r-2} \,.\, x^2 \right\}$$

Berdasarkan rumusan-rumusan cara menentukan volume untuk frustrum maupun benda putar sempurna ternyata berlainan dan masing-masing bias yang diperoleh sebesar :

$$E_f = V'_f - V_f \longrightarrow \text{bias penentuan volume frustrum}$$

$$= \pi \,.\, c \,.\, p \left\{ \frac{r(r-1)}{2} (q + \tfrac{1}{2} p)^{r-2} \right\} (x^2 - {}^{1}/_{12}\, p^2)$$

$$E_{bs} = V'_{bs} - V_{bs} \longrightarrow \text{bias penentuan volume benda putar sempurna}$$

$$= \pi \,.\, c \,.\, p \left\{ \frac{r(r-1)}{2} (\tfrac{1}{2} p)^{r-2} \right\} (x^2 - {}^{1}/_{12}\, p^2) \;;\; q = 0$$

Besaran bias besaran volume setiap benda-benda putar sesuai dengan bentuk dan besarnya nilai r disajikan seperti Tabel 6.3.

Tabel 6.3. Rumusan bias volume benda-benda putar sesuai bentuk dan nilai r

Bentuk benda	r	Bias volume = V' – V	
		BP Sempurna	Frustrum
Silinder	0	0	0
Parabola	1	0	0
Kerucut	2	$\pi\ c\ p\ (x^2 - {}^{1}/_{12}\, p^2)$	$\pi\ c\ p\ (x^2 - {}^{1}/_{12}\, p^2)$
N eiloid	3	${}^{3}/_{2}\ \pi\ c\ p\ (x^2 - {}^{1}/_{12}\, p^2)$	$3\,\pi\ c\ p\ (q + \tfrac{1}{2} p)\ (x^2 - {}^{1}/_{12}\, p^2)$

Memperhatikan besaran bias di atas menunjukkan bahwa :

1) Bias yang terjadi pada bentuk silinder dan parabola memberikan hasil cukup seksama;

2) Benda putar bentuk kerucut menunjukkan bias yang sama besar;

3) Bias benda putar bentuk neiloid sempurna dipengaruhi oleh besar nilai x (jarak bidang dasar dari pertengahan frustrum). Sedangkan bias frustrumnya disamping nilai x juga dipengaruhi oleh nilai q (bagian yang dipancung).

Untuk mengatasi adanya bias penentuan volume dengan merata-ratakan bidang dasar benda putar kerucut dan neiloid dengan upaya menol bias (bias = 0), yaitu:

1) Benda putar kerucut

a) Kerucut sempurna:

$$E_{bs} = \pi \; c \; p \; (x^2 - {}^1/_{12}\, p^2) = 0$$

$$x^2 - {}^1/_{12}\, p^2 = 0 \quad ; \quad x = \pm 0{,}2887\, p$$

b) Frustrum kerucut:

$$E_f = E_{bs} = \pm\ 0{,}2887\, p$$

2) Benda putar neiloid

a) Neiloid sempurna:

$$E_{bs} = {}^3/_2\, \pi \; c \; p \; (x^2 - {}^1/_{12}\, p^2) = 0$$

$$x^2 - {}^1/_{12}\, p^2 = 0 \; ; \; x = \pm 0{,}2887\, p$$

b) Frustrum kerucut:

$$E_f = 3\, \pi \; c \; p \; (q + {}^1\!/_2\, p) \; (x^2 - {}^1/_{12}\, p^2) = 0$$

$$x^2 - {}^1/_{12}\, p^2 = 0 \; ; \; x = \pm 0{,}2887\, p$$

Dari upaya menolkan bias diperoleh kesimpulan rumusan volume benda putar kerucut maupun neiloid sebagai berikut :

$$V' = \frac{B_{-0{,}2887\, p} + B_{+0{,}2887\, p}}{2} \cdot p$$

2. Pendekatan rumus volume

Sekilas bentuk batang berdiri merupakan bentuk kerucut, tetapi setelah ditebang bentuk batang mendekati bentuk silinder. Sehingga rumusan volume pohon pada umumnya dipersamakan dengan rumusan volume kerucut atau volume silinder dan secara matematis dinotasikan sebagai $V_{kerucut} = {}^{\pi}/_{12} \,.\, D^2 \,.\, T$ dan $V_{silinder} = {}^{\pi}/_{4} \,.\, D^2 \,.\, T$

Bila volume pohon mengacu pada rumus volume kerucut, maka rumusannya menjadi:

$$
\begin{aligned}
V_{Kerucut} &= \text{Luas Alas} \,.\, \tfrac{1}{3}\,\text{Tinggi} \\
&= \pi \,.\, R^2 \,.\, \tfrac{1}{3} \,.\, T \\
&= \pi \,.\, \tfrac{1}{4} \,.\, D^2 \,.\, \tfrac{1}{3} \,.\, T \\
&= \pi \,.\, {}^{1}/_{12} \,.\, D^2 \,.\, T
\end{aligned}
$$

Bila volume pohon mengacu pada rumus volume silinder, maka rumusannya menjadi :

$$
\begin{aligned}
V_{Silinder} &= \text{Luas Lingkaran} \,.\, \text{Tinggi} \\
&= \pi \,.\, R^2 \,.\, T \\
&= \pi \,.\, \tfrac{1}{4} \,.\, D^2 \,.\, T
\end{aligned}
$$

Menyimak kedua rumusan tersebut dalam prakteknya bahwa :

a) Diameter batang yang digunakan hanya satu untuk setiap kenaikan tinggi batang, yaitu diameter atau keliling setinggi dada.

b) Ini juga berarti setiap titik pada lingkar batang dari pangkal hingga tajuk (ujung batang utama) tidak akan pernah bertumpu pada sumbu batang (seperti pada kerucut).

Berdasarkan kedua uraian tentang volume beda-benda putar termasuk biasnya dan pendekatan rumus volume pohon secara matematis dapat dinyatakan bahwa rumusan volume pohon berdiri didasarkan pada volume silinder dengan memperhatikan antara lain :

a) Bias volume benda-benda putar; hanya silinder dan parabola yang memberikan bias volume seksama, baik berupa benda putar sempurna maupun frustrum,

b) Pendekatan rumus volume kerucut dan silinder secara matematis; memperhatikan bentuk batang dan pemanfaatannya ternyata bentuk silinder lebih seksama.

C. Penentuan Volume

1. Pohon Berdiri

Pengukuran volume pohon berdiri secara langsung hanya dapat dilakukan sampai ketinggian 2 meter yaitu hasil perhitungan dari pengukuran diameter dan tinggi secara langsung. Selebihnya merupakan pengukuran tidak langsung.

Secara garis besar pendugaan volume pohon berdiri dapat dilakukan dengan cara kasat mata, persamaan dan tabel volume, pengukuran batang pohon secara seksi, metoda grafis, berdasarkan pohon contoh (model)

a. Pendugaan secara kasat mata (okuler)

Cara ini perlu pengalaman lapangan. Bagi surveyor yang cukup berpengalaman dalam menduga volume kayu pohon berdiri memberikan bias (kesalahan) volume sekitar 10 – 15%. Pendugaan volume pohon berdiri secara kasat mata (Denzin dalam Simon, 1996) diperoleh dengan rumusan tersebut adalah:

$$V = \frac{Dsd^2}{1000}$$

dimana: V = volume batang (m3) sampai diameter 7 cm
Dsd = diameter setinggi dada (cm)

Rumus ini hanya berlaku (benar) bila tinggi bentuk (*form height*) sebesar 12,74 cm.

b. Persamaan volume

Untuk memperoleh persamaan volume pohon berdiri memerlukan pohon contoh (*sample*) yang cukup besar. Sejalan dengan pembuatan tabel volume lokal yang dikemukakan oleh Bustomi, Wahyono dan Parthama (1998), maka jumlah pohon contoh yang digunakan sekitar 50 sampai dengan 150 pohon untuk luasan 100 ha.

Untuk memperoleh persamaan volume yang baik, perlu diperhatikan antara lain pemilihan pohon-pohon contoh sebagai pewakil (*purposif*) dari keseluruhan pohon yang ada, keadaan /kondisi topografi dan menguji beberapa persamaan yang dianggap mungkin dan secara menyeluruh sesuai dengan kondisi hutannya. Berbagai model persamaan volume kayu berdiri disajikan pada Tabel Lampiran 6-1 dan 6-2. Persamaan-persamaan tersebut berkaitan dengan satuan ukuran sehingga dalam penggunaannya perlu menentukan sistem satuan mana yang akan digunakan yaitu sistem Metrik atau sistem Bristish.

c. Cara matematis

Telah dikemukakan bahwa pengukuran pohon berdiri secara langsung paling tinggi 2 meter. Upaya mengatasinya dengan menebang pohon tersebut kemudian dilakukan pengukuran batang secara seksi. Pengukuran panjang secara seksi sebenarnya memperhatikan bentuk (permukaaan) batang, namun menyulitkan karena batas perubahan bentuk batang (bentuk benda-benda putar) satu dengan lainnya tidak begitu jelas.

Pengukuran secara seksi akan menimbulkan bias volume lebih kecil dibanding dilakukan secara langsung. Bias yang ditimbulkan akan lebih kecil bila jumlah seksi semakin banyak dan berbanding terbalik dengan kuadrat jumlah seksi. Rumusan dasar yang digunakan untuk menentukan volume tiap seksi adalah rumus Hüber. Berapa bias yang ditimbulkan dari sejumlah seksi yang mungkin dibuat untuk tinggi atau panjang batang tertentu dapat dilakukan sebagai berikut:

$$E_f = \pi \,.\, c \,.\, p \,.\, \frac{r\,(r-1)}{2}\,(q + ½\,p)^{r-2}\,(x^2 - {}^1/_{12}\,p^2)$$

1) Bila seluruh batang dijadikan satu seksi, maka bias yang ditimbulkan:

$$E_1 = \pi \,.\, c \,.\, p \,.\, \frac{r\,(r-1)}{2}\,(q + ½\,p)^{r-2}\,(b_0^2 - {}^1/_{12}\,p^2)$$

$$= \pi \,.\, c \,.\, p \,.\, \frac{r\,(r-1)}{2}\,(q + ½\,p)^{r-2}\,(-{}^1/_{12}\,p^2);\quad b_0 = 0$$

$$= -{}^1/_{12}\,p^2 \,.\, K;\ \text{dimana}\ \ K = \pi \,.\, c \,.\, p \,.\, \frac{r\,(r-1)}{2}\,(q + ½\,p)^{r-2}$$

2) Bila seluruh batang djadikan dua seksi, maka bias yang ditimbulkan:

$$E_2 = \pi \,.\, c \,.\, p \,.\, \frac{r\,(r-1)}{2}\,(q + ½\,p)^{r-2}\,\{(¼\,p)^2 - {}^1/_{12}\,p^2)$$

$$= ({}^1/_{16}\,p^2 - {}^1/_{12}\,p^2)\,.\,K \;=\; -{}^1/_{48}\,p^2\,.\,K$$

$$= \frac{1}{2^2}\,(-{}^1/_{12}\,p^2\,.\,K)$$

3) Bila seluruh batang dijadikan tiga seksi, maka bias yang ditimbulkan:

$$V_f' = {}^1/_3\ p\ (b_{-{}^1/_3 p} + b_{0,0\ p} + b_{+{}^1/_3 p})$$

$$V_f' = {}^2/_3\ p\ \left(\frac{b_{-{}^1/_3 p} + b_{+{}^1/_3 p}}{2}\right) + {}^1/_3\ p\ \left(\frac{b_{-0,0\ p} + b_{+0,0\ p}}{2}\right)$$

$$V_f = \pi\ .\ c\ .\ p\ \{{}^2/_3 (q + ½\ p)^r + {}^1/_3 (q + ½\ p)^r + \frac{r\,(r-1)}{2}\ (q + ½\ p)^{r-2}\ .\ {}^2/_3\ ({}^1/_3\ p)^2\ \}$$

$$= \pi\ .\ c\ .\ p\ (q + ½\ p)^r + \frac{r\,(r-1)}{2}\ (q + ½\ p)^{r-2}\ .\ {}^2/_3\ ({}^1/_3\ p)^2\ \}$$

$$E_3 = V_f' - V_f$$

$$= \pi\ .\ c\ .\ p\ .\ \frac{r\,(r-1)}{2} (q + ½\ p)^{r-2}\ \{{}^2/_3 ({}^1/_3\ p)^2 - {}^1/_{12}\ p^2\ \}$$

$$= ({}^2/_{27}\ p^2 - {}^1/_{12}\ p^2\ )\ K = -\ {}^1/_{108}\ p^2\ .\ K$$

$$= \frac{1}{3^2}\ (-\ {}^1/_{12}\ p^2\ .\ K)$$

4) Bila seluruh batang dijadikan n seksi, maka bias yang ditimbulkan:

$$E_n = \frac{1}{n^2}\ (-\ {}^1/_{12}\ p^2\ .\ K)$$

dimana $(-\ {}^1/_{12}\ p^2\ .\ K)$ = bias penentuan volume batang yang dijadikan satu seksi.

Untuk kemudahan dan kepraktisan di lapangan, maka panjang tiap seksi yang ditentukan selama ini buat sama yaitu 1 meter (pohon-pohon hutan tanaman) atau 2 meter (pohon-pohon hutan rimba). Mengingat panjang batang tidak selalu habis dibagi dengan panjang seksi yang diinginkan, maka dibuat kesepakatan sebagai berikut:

1) Panjang seksi batang = 1 meter

Katakan panjang batang 8,0 meter berarti diperoleh sebanyak 8 seksi. Bila sisa pembagian panjang seksi lebih kecil dari 0,5 meter (< 0,5 m), maka sisanya digabungkan dengan seksi sebelumnya.

Misal p = 8,4 meter, maka akan diperoleh:

- 7 seksi (1 meter)
- 1 seksi (1,4 meter)

Bila sisa pembagian panjang seksi 0,5 meter atau lebih besar (≥ 0,5 meter), maka sisanya dijadikan 1 seksi.

Misal p = 8,6 meter, maka akan diperoleh :

- 8 seksi (1 meter)
- 1 seksi (0,6 meter)

2) Panjang seksi batang = 2 meter

Katakan panjang batang 14,0 meter berarti diperoleh sebanyak 14 seksi. Bila sisa pembagian panjang seksi lebih kecil dari 1,0 meter (< 1,0 meter), maka sisanya digabungkan dengan seksi sebelumnya.

Misal p = 14,9 meter, maka akan diperoleh:

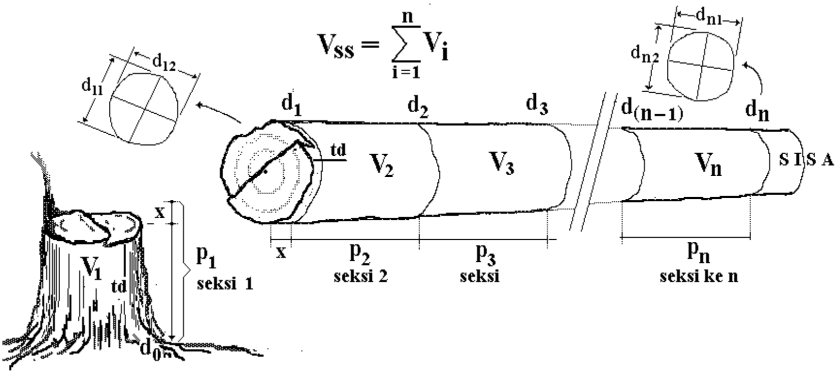
- 6 seksi (2 meter)
- 1 seksi (2,9 meter)

Bila sisa pembagian panjang seksi 1,0 meter atau lebih besar (≥ 1,0 meter), maka sisanya dijadikan 1 seksi.

Misal p = 15,0 meter, maka akan diperoleh :

- 7 seksi (2 meter)
- 1 seksi (1 meter)

Untuk memperjelas pengukuran panjang tiap seksi untuk sebatang pohon diilustrasikan seperti Gambar 6.5.



Gambar 6.5. Pengukuran batang pohon secara seksi.

Langkah-langkah pengukurannya sebagai berikut :

1) Penandaan batang

Sebelum batang pohon ditebang terlebih dulu diberi tanda (td) melintang batang tiap kenaikan 0,5 meter, 1 meter atau lebih dan telah diperkirakan letak penebangan berada dalam batas tanda tersebut.

2) Penentuan panjang dan diameter

Panjang seksi diawali dari pangkal batang. Katakan pengukuran panjang seksi x meter, berarti $p_1 = p_2 = p_3 = \ldots\ldots = p_{(n-1)} = p_n = L$. Setiap penampang seksi dilakukan pengukuran dua kali. Sehingga diperoleh diameter tiap seksi adalah d_0 dan d_1 untuk seksi 1, d_1 dan d_2 untuk seksi 2, dan seterusnya. Jadi diameter ujung (du) pada seksi sebelumnya adalah juga diameter pangkal (dp) pada seksi berikutmya. Sedangkan diameter tiap seksi diperoleh dari:

Seksi 1 ; $dp = d_0 = ½ (d_{01} + d_{02})$ dan $du = d_1 = ½ (d_{11} + d_{12})$

Seksi 2 ; $dp = d_1 = ½ (d_{11} + d_{12})$ dan $du = d_2 = ½ (d_{21} + d_{22})$

Seksi 3 ; $dp = d_2 = ½ (d_{21} + d_{22})$ dan $du = d_3 = ½ (d_{31} + d_{32})$

…………………….. dan seterusnya …………………………..

Seksi n ; $dp = d_{n-1} = ½ (d_{n-1.1} + d_{n-1.2})$ dan $du = d_n = ½ (d_{n1}+d_{n2})$

Diameter rataan masing-masing seksi adalah:

Seksi 1 ; $d_{S1} = ½ (d_0 + d_1)$ Seksi 3 ; $d_{S3} = ½ (d_2 + d_3)$; dstnya

Seksi 2 ; $d_{S2} = ½ (d_1 + d_2)$ Seksi n ; $d_{Sn} = ½ (d_{n-1} + d_n)$

3) Perhitungan volume tiap seksi :

Seksi 1; $V_1 = \pi . ¼ . d_{S1}^2 . p_1$ Seksi 3; $V_3 = \pi . ¼ . d_{S3}^2 . p_3$; dstnya

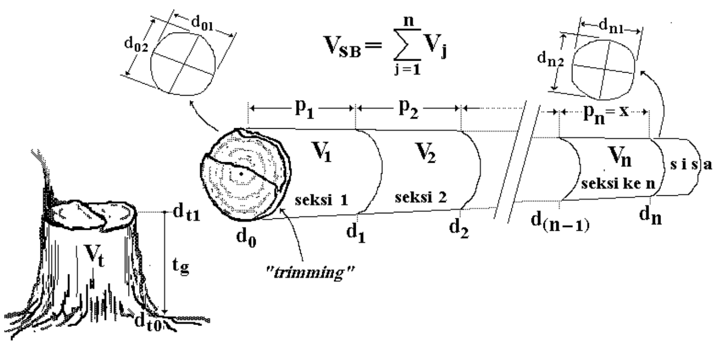
Seksi 2 ; $V_2 = \pi . ¼ . d_{S2}^2 . p_2$; Seksi n ; $V_n = \pi . ¼ . d_{Sn}^2 . p_n$

Volume seluruh seksi adalah $V_{SS} = V_1+V_2+V_3+...+V_{(n-1)} +V_n$

Volume pohon adalah volume seluruh seksi dinotasikan sebagai berikut:

$$V_{pohon} = V_{SS} = \sum_{i=1}^{n} V_i$$

Cara lain yang sering dilakukan yaitu volume seksi hanya merupakan volume batang rebah dan untuk menentukan volume batang berdiri ditambahkan dengan volume tunggak. Tunggak dianggap sebagai satu seksi. Pengertian tunggak disini termasuk *trimming*. Secara singkat pengukurannya disajikan seperti Gambar 6.6.



Gambar 6.6. Pengukuran batang secara seksi dan tunggak.

Bila diperhatikan Gambar 6.5 dan Gambar 6.6 di atas terdapat perbedaan yaitu pada awal pengukuran dan adanya "*trimming*" yang termasuk dalam perhitungan tunggak. Pengukuran awal panjang seksi (Gambar 6.5) dari pangkal batang pohon. Sedangkan awal pengukuran panjang seksi pada Gambar 6.6 dari pangkal batang yang sudah rebah. Sehingga perhitungan volume batang berdiri sebagai berikut :

$V_{pohon} \;=\; V_{SB} + V_t$

dimana : $V_t = \pi \,.\, ¼ \,.\, d_t^2 \,.\, t_g$; $d_t = ½\,(d_{t0} + d_0)$

$t_g = t_{tg} + t_m$ (tinggi tunggak tambah tebal *triming*)

Penentuan volume cara ini sering dipraktikan , meskipun sebenarnya cukup menyulitkan dan tidak praktis.

d. Cara grafis

Dasar kerja cara ini yaitu memindahkan (*ploting*) gambaran bentuk suatu benda ke dalam kertas milimeter (kertas grafik). Parameter yang menggambarkan bentuk benda tersebut berupa angka-angka ukuran diameter sebagai ordinat dan panjang sebagai absis terhadap salib sumbu. Angka-angka ukuran diameter dan tinggi yang dimaksud adalah ukuran diameter dengan berbagai ketinggian. Jarak antara diameter dengan berbagai ketinggian dibuat sistematik (sama), misalnya 0,5 meter, 1 meter atau lebih. Semakin pendek jarak antara diameter, semakin banyak diperoleh angka diameter sehingga hasil pendugaan volume semakin cermat. Pengukuran diameter dapat pula dengan kulit atau tanpa kulit. Alat ukur yang biasa digunakan adalah Dendrometer (Tele-dendrometer) dan Speigel Relaskop.

Bila angka-angka hasil ukuran diameter dikuadratkan atau dikonversi ke luas penampangnya kemudian dipindahkan ke dalam kertas grafik (milimeter) sesuai dengan ketinggiannya, maka akan menghasilkan grafik yang dinamakan *kurva taper* (*taper curva*). Penyajian dalam bentuk kurva taper ini berupa salib-sumbu kuadran pertama, dimana diameter (d), diameter kuadrat (d^2) atau konversi luas penampangnya sebagai unsur ordinat dan tinggi untuk berbagai pengukuran diameter sebagai unsur absis. Luas di bawah kurva menggambarkan perkiraan volume batang. Perhitungannya (luas di bawah kurva) dapat dilakukan dengan dua cara yaitu menghitung jumlah kotak (*dot-grid*) yang terdapat dalam grafik dan menggunakan metode planimeter.

Penggunaan metode planimeter untuk mengukur luas grafik di bawah kurva dan kemudian diubah ke dalam besaran volume berdasarkan rumus:

$$V = L \cdot vd$$

dimana : V = volume,

L = luas grafik di bawah kurva,

vd = volume *dot-grid* (1 cm^2)

Sedangkan volume *dot-grid* ditentukan dengan rumus $vd = A \cdot P$

dimana : A = luas penampang lintang dalam satuan skala salib-sumbu (*dot-grid*)

P = tinggi atau panjang batang dalam satuan skala salib-sumbu

Penyajian dalam bentuk *kurva taper* ini dapat pula dilakukan terhadap pohon yang sudah rebah.

Contoh berikut menyajikan cara penentuan volume pohon Jabon (Dsd = 24 cm ; tinggi = 19,4 m) dengan ukuran diameter kuadrat sebagai unsur ordinat dan tinggi sebagai unsur absis.

1) Penentuan skala salib-sumbu

Tentukan lebih dulu perbandingan skala ukuran diameter kuadrat dengan satuan ukuran pada salib-sumbu. Katakan perbandingan skala salib-sumbu untuk diameter kuadrat yaitu 100 : 1; artinya d^2 = 100 cm^2 dipindahkan ke dalam grafik menjadi 1 cm. Perbandingan untuk tinggi yaitu 100 : 1; artinya t = 100 cm dipindahkan ke dalam grafik menjadi 1 cm. Sehingga luasan setiap 1 cm^2 (*dot-grid*) dalam grafik ditunjukkan dengan unsur ordinat (d^2) = 100 cm^2 dan 100 cm unsur absis (t). Ilustrasinya skala pada salib-sumbu disajikan pada Gambar 6.7.

Gambar 6.7. Kurva volume pohon Jabon berdasarkan diameter kuadrat dan tinggi.

Dari hasil ukuran diperoleh diameter dan ketinggian letak diameter. Data diameter (d) dikuadratkan menjadi kuadrat diameter (d^2). Pindahkan unsur-unsur ordinat (d^2) ke dalam grafik yang disesuaikan dengan kenaikan letak diameter (t) sepanjang satu meter. Demikian seterusnya dan hubungkan setiap titik temu tersebut sehingga membentuk kurva.

2) Perhitungan volume

a) Menghitung jumlah *dot-grid*

Tentukan lebih dulu besaran volume *dot-grid* seluas 1 cm^2 (vd). Berdasarlan skala yang telah ditentukan diperoleh volume *dot-grid* sebagai berikut :

$$vd = \pi \cdot ¼ \cdot d^2 \cdot t = \pi \cdot ¼ \cdot 100\ cm^2 \cdot 100\ cm$$

$$= 0{,}007854\ m^3$$

Jadi volume luasan 1cm^2 = 0,007854 m^3 atau 1 mm^2 = 7,854E-05m^3

Jumlah *dot-grid* di bawah kurva setelah dihitung sebanyak 61,94. Sehingga volume pohon adalah 61,94 x 0,007854 m^3 = 0,4865 m^3.

b) Metoda planimeter

Sebelumnya ditentukan lebih dulu luasan 1 cm^2 pada grafik yang ditunjukan pada skala planimeter. Katakan hasil pembacaan 1 cm^2 pada skala planimeter adalah 10.

Volume *dot-grid* : $vd = A \cdot P$

$$= \pi \cdot ¼ \cdot d^2 \cdot t$$

$$= \pi \cdot ¼ \cdot 100\ cm^2 \cdot 100\ cm$$

$$= 0{,}007854\ m^3$$

Luasan grafik di bawah kurva hasil pengukuran planimeter sebesar 61,9.

Volume pohon : $V = L \cdot vd$

$$= 61{,}9 \times 0{,}007854\ m^3 = 0{,}4862\ m^3.$$

Berdasarkan hasil perhitungan rumusan volume pohon diperoleh :

$$V = {}^{\pi}/_{4} \cdot D^2 \cdot T \cdot f_f = {}^{\pi}/_{4} \cdot ({}^{24}/_{100})^2 \cdot 19{,}4 \cdot 0{,}7$$

$$= 0{,}6146\ m^3$$

Bila ingin mengetahui volume batang, maka ukuran silindernya (diameter dan panjang) dipindahkan dan letakkan berimpitan dengan titik temu antara diameter dan panjang batang tersebut. Perhitungan volumenya (bagian batang yang dianggap silinder) dapat ditentukan dengan salah satu dari kedua cara di atas.

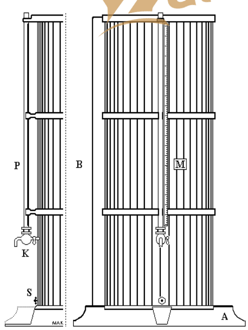
2. Pohon rebah

a. Cara langsung

Cara ini dilakukan tanpa mengukur dimensinya lebih dahulu, misalnya tinggi atau panjang, diameter atau keliling, lebar, tebal. Benda-benda yang diukur umumnya berbentuk tidak teratur atau sukar dihitung melalui rumusan atau sulit dinyatakan dalam fungsi matematika. Alat ukur satu-satunya yang umum digunakan adalah Xylometer. Dasar kerja dan cara pemakain alat ukur Xylometer sebagai berikut:

1) Dasar kerja

Dasar kerja alat mengacu pada hukum Archimedes, yaitu volume suatu benda sama dengan volume zat cair yang dipindahkan oleh benda tersebut. Volume air yang dipindah sebanding dengan naiknya permukaan air pada pipa gelas P seperti Gambar 6.8.



Keterangan :

B = bak atau tabung air

P = pipa gelas

K = kran pipa gelas

M = mistar berskala

S = sekrup pembuang air

Gambar 6.8. Xylometer

Bila luas penampang pipa sebesar x m^2 dan naiknya permukaan dalam pipa setinggi y meter, maka volume air yang dipindahkan (= volume kayu) sebesar xy m^3. Berdasarkan cara ini dibuat pembagian sekala pada mistar M. Cara penentuan volume seperti ini disebut "*water or liquid immersion methode*".

2) Cara pemakaian

Isi bak xylometer dengan air sampai hingga permukaan air dalam pipa gelas P menunjukkan angka nol pada mistar M. Tenggelamkan kayu (batang, cabang atau ranting) yang akan ditentukan volumenya. Baca besaran skala pda mistar M yang ditunjukkan oleh permukaan air dalam pipa P. Angka yang terbaca merupakan volume kayu yang ditenggelamkan.

b. Cara matematis

Penentuan volume suatu benda menggunakan rumusan matematika. Cara ini menganggap bahwa batang kayu merupakan suatu benda putar sempurna. Sehingga berlaku rumus :

$$V = \bar{b} \; . \; t$$

dimana : $\bar{b}$ = luas penampang lintang rataan ; t = panjang batang.

Dalam prakteknya luas penampang lintang rataan ditentukan dengan jalan mengukur diameter rataan, sehingga diperoleh rumus b = ¼ . π . d^2. Sehingga volumenya menjadi:

$$V = \tfrac{1}{4} \; . \; \pi \; . \; d^2 \; . \; t$$

Volume benda-benda yang ditentukan dengan cara ini antara lain benda-benda berupa benda putar (silinder, parabola, kerucut, neiloid) dan benda-benda segibanyak yang mempunyai bentuk teratur (prisma , piramida).

1) Volume Kayu bulat

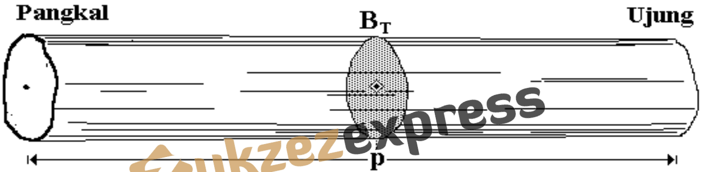
Telah dikemukakan bahwa pemanfaatan batang pohon tidak sepenuhnya dilakukan, tetapi ada bagian tertentu yang dibuang (bagian tajuk). Berarti bentuk batang lebih cenderung ke bentuk silinder dan umumnya disebut kayu bulat.

Kecenderungan ini tampak jelas bila panjang batang relatif terbatas (pendek). Bedanya luas dan kehalusan (mulus) pada kedua bontos tidak sama, sehingga perhitungan volumenya menggunakan rumus silinder dengan memperhatikan ukuran kedua bontosnya.

Berdasarkan letak pengukuran diameter pada batang untuk menduga volume kayu bulat didekati dengan beberapa rumus sebagai berikut:

a) Rumus Hubër : $V = BT \, . \, L$

dimana: V = Volume batang kayu (kayu bulat)
B_T = bidang dasar tengah; p = Panjang batang yang diukur



Gambar 6.9. Ilustrasi rumusan Hüber.

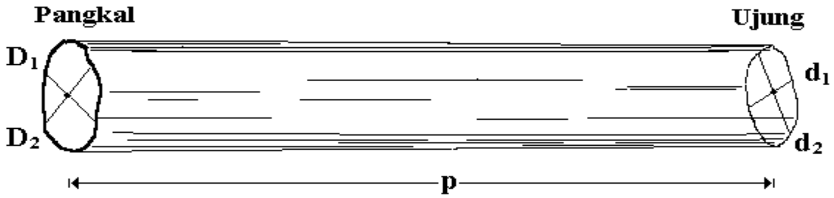
b) Rumus Brereton : $V = \frac{1}{4} \, . \, \pi \left(\frac{D + d}{2}\right)^2 . \, p$

Rumus ini merupakan modifikasi dari rumus Hubër. Masing-masing diameter diukur dua kali dan kemudian dirata-ratakan , sehingga rumusannya menjadi :

$$V = \frac{1}{4} \, . \, \pi \left(\frac{D_1 + D_2 + d_1 + d_2}{4}\right)^2 . \, p$$

$$V = {}^{1}/_{64} \, . \, \pi \, (D_1 + D_2 + d_1 + d_2)^2 \, . \, p$$

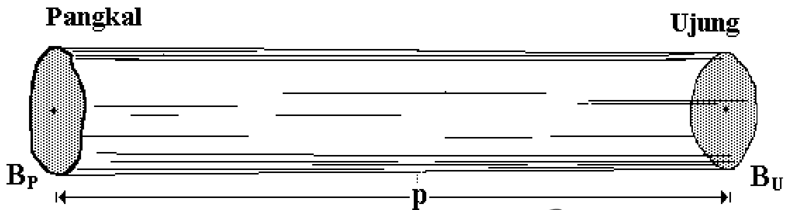
dimana : D_1 & D_2 = diameter pangkal ; d_1 & d_2 = diameter ujung



Gambar 6.10. Ilustrasi rumusan Brereton.

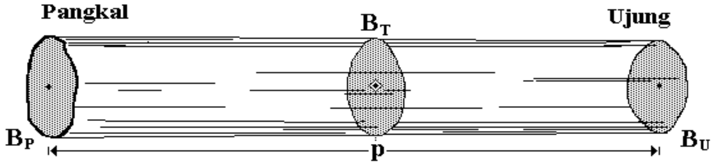
c) Rumus Smalian : $V = ½ \cdot (B_P + B_U) \cdot p$

dimana : B_P & B_U = bidang dasar pangkal dan ujung



Gambar 6.11. Ilustrasi rumusan Smalian.

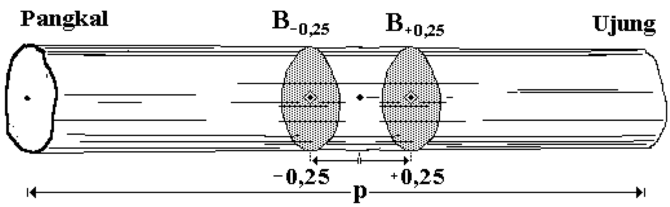
d) Rumus Newton : $V = {}^1/_6 \cdot (B_P + 4.B_T + B_U) \cdot p$



Gambar 6.12. Ilustrasi rumusan Newton.

e) Rumus Preszler : $V = ½ \cdot (B_{+0,25L} + B_{–0,25L}) \cdot p$

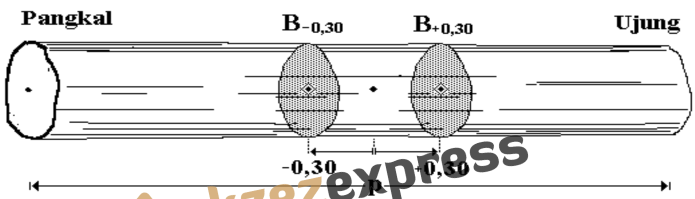
dimana : $B_{+0,25L}$ & $B_{–0,25L}$ = bidang dasar yang diukur dengan jarak 0,25L dari bagian tengah panjang batang, ke kiri dan ke kanan.



Gambar 6.13. Ilustrasi rumusan Preszler.

f) Rumus Simony : $V = \frac{1}{2} \cdot (B_{+0,30L} + B_{-0,30L}) \cdot p$

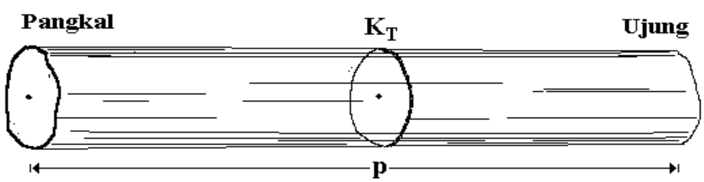
dimana : $B_{+0,30L}$ & $B_{-0,30L}$ = bidang dasar yang diukur dengan jarak 0,30L dari bagian tengah panjang batang, ke kiri dan ke kanan



Gambar 6.14. Ilustrasi rumusan Simony.

g) Rumus Hoppus : $V = (\frac{1}{4}\ K_T)^2 \cdot p$

dimana : K_T = keliling bagian tengah dari panjang batang



Gambar 6.15. Ilustrasi rumusan Hoppus.

Telah dikemukakan bahwa setiap batang pohon terdiri dari deretan bentuk benda sempurna dan frustrum. Volume frustrum dengan cara merata-ratakan bidang dasar akan memberikan hasil yang benar, bila bentuk frustrumnya berupa silinder atau parabola. Sebaliknya bila pada bagian batang terdapat frustrum kerucut atau neiloid maka akan menyebabkan kesalahan penentuan volume. Berdasarkan cara perhitungan volume dipengaruhi bentuk batang kayu atau log dapat dilihat pada Gambar 6.16.

Sumber: Kershaw *et. al*., 2017

Gambar 6.16. Bentuk batang kayu atau log di lapangan

Ditinjau dari bias (kesalahan) yang terjadi akibat sederetan bentuk frustrum dari benda putar yang membentuk batang diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

a) Rumus Newton memberikan kesalahan sebesar nol.

$$E_{Kerucut} = 0 \quad \text{dan} \quad E_{Neiloid} = 0$$

b) Rumus Hubër, Brereton Preszler dan Hoppus memberikan kesalahan negatip.

Rumus Hubër: $E_{Kerucut} = -\, 1/12\ \pi\ c\ \ p3$

$E_{Neiloid} = -\ ¼\ \pi\ c\ (q + ½\, p)\ p3$

Rumus Brereton: $E_{Kerucut} = -\, 1/12\ \pi\ c\ p3$

$E_{Neiloid} = -\ ½\ \pi\ c\ p\ q\ \{q2 + 3/2\ q\, p + ½\ p2 - (q + p) \sqrt{}\, q\, (q + p)\}$

c) Rumus Smalian dan Simony memberikan kesalahan positip.

Rumus Smalian: $E_{Kerucut} = + {}^{1}/_{6}\ \pi\ c\ p^{3}$

$E_{Neiloid} = + \frac{1}{2}\ \pi\ c\ (q + \frac{1}{2} p)\ p^{3}$

Rumus Simony: $E_{Kerucut} = + {}^{1}/_{150}\ \pi\ c\ p^{3}$

$E_{Neiloid} = + {}^{1}/_{50}\ \pi\ c\ (q + \frac{1}{2} p)\ p^{3}$

Bila nilai-nilai lambang tersebut disubstitusiksn nilai-nilai angka hasil pengukuran, maka akan diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1) Rumus Newton tidak menunjukkan adanya kesalahan perhitungan volume kayu.

$V_{Newton} = V_{nol}$ (tanpa kesalahan perhitungan)

2) Rumus Hubër, Brereton Pressler dan Hoppus memberikan kesalahan negatip (*under estimate*) dalam perhitungan, sehingga akan menguntungkan konsumen. Besar kesalahan secara terurut tanpa memperhatikan bentuk frustrum dari benda putar adalah :

$V_{Hubër} < V_{Hoppus} < V_{Preszler} < V_{Brereton} < V_{Newton}$

Memperhatikan bentuk frustrum diperoleh sbagai berikut :

Kerucut : $V_{Hoppus} < V_{Hubër} = V_{Brereton} < V_{Preszler} < V_{Newton}$

Neiloid : $V_{Hubër} < V_{Hoppus} < V_{Preszler} < V_{Brereton} < V_{Newton}$

3) Rumus Smalian dan Simony memberikan kesalahan positip (*over estimate*) dalam perhitungan, sehingga akan menguntungkan konsumen. Besar kesalahan secara terurut tanpa memperhatikan bentuk frustrum dari benda putar adalah :

$V_{Smalian} > V_{Simony} > V_{Newton}$

Memperhatikan bentuk frustrum diperoleh sebagai berikut :

Kerucut : $V_{Smalian} > V_{Simony} > V_{Newton}$

Neiloid : $V_{Smalian} > V_{Simony} > V_{Newton}$

2) Kayu persegi (kayu gergajian)

Kayu gergajian (pertukangan) merupakan hasil yang diperoleh dari pengolahan (penggergajian) kayu bulat (dolok atau logs atau sebatang pohon) dari berbagai ukuran menjadi sortimen dengan ukuran tertentu, misalnya balok, bantalan, papan. Cara menentukan besar volumenya sangat mudah dengan syarat ketiga dimensinya diketahui yaitu panjang, lebar, tebal atau tinggi. Volumenya dihitung dengan rumus sebagai berikut :

Volume = panjang x lebar x tebal (tinggi)

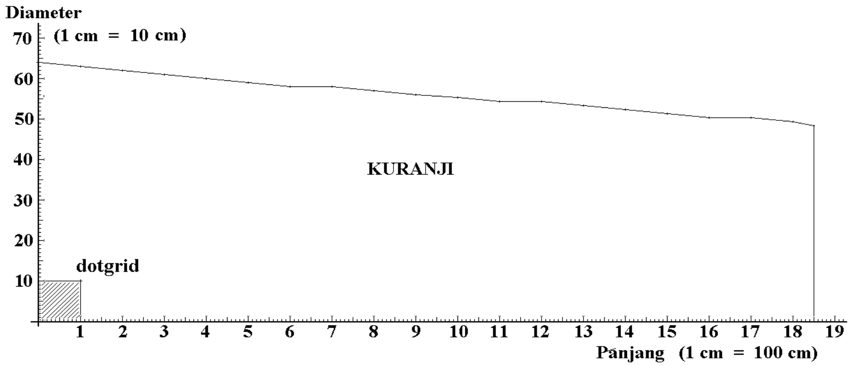
Berdasarkan pengalaman tidak jarang orang dapat menaksir berapa banyaknya (jumlah) kayu pertukangan yang mungkin diperoleh dari sebatang pohon dengan mengetahui tinggi dan keliling atau diameter batang. Kini dengan bantuan tabel normal setempat (tarif) dapat diperkirakan banyaknya kayu pertukangan jenis tertentu tergantung dari tarif jenis yang bersangkutan.

a. Cara grafis

Dasar kerjanya sama seperti yang diuraikan pada penentuan volume pohon berdiri secara garfis. Volume batang pohon Kuranji (panjang = 18,5 m; diameter pangkal = 64,0 cm; diameter ujung = 48,2 cm) yang dicontohkan berikut dengan diameter (d) sebagai unsur ordinat dan panjang sebagai unsur absis.

1) Penentuan skala salib-sumbu

Perbandingan skala untuk diameter adalah 10 : 1; berarti d = 10 cm dipindahkan ke dalam grafik menjadi 1 cm. Perbandingan untuk panjang yaitu 100 : 1; berarti p = 100 cm dipindahkan ke dalam grafik menjadi 1 cm. Ilustrasi perbandingan skala pada salib-sumbu seperti disajikan pada Gambar 6.17.



Gambar 6.17. Kurva diameter dan panjang batang pohon Kuranji.

Data hasil ukuran diameter penampang lintang batang (d) dan letak diameter tiap penambahan panjang 1 meter (p). Pindahkan unsur-unsur ordinat (d) dan letak diameter setiap penambahan 1 meter ke dalam grafik. Demikian seterusnya dan hubungkan setiap titik temu tersebut sehingga membentuk kurva.

2) Perhitungan volume

a) Menghitung jumlah *dot-grid*

Volume *dot-grid* sebagai berikut :

$$vd = \pi \cdot \tfrac{1}{4} \cdot d^2 \cdot t = \pi \cdot \tfrac{1}{4} \cdot (10\ \text{cm})^2 \cdot 100\ \text{cm}$$

$$= 0{,}007854\ \text{m}^3$$

Jumlah kotak (dot-grid) setelah dihitung sebanyak 583. Sehingga volumenya menjadi 583 x 0,007854 m^3 = 4,5789 m^3.

b) Metoda planimeter

Sebelumnya ditentukan lebih dulu luasan 1 cm^2 pada grafik yang ditunjukan pada skala planimeter. Katakan hasil pembacaan 1 cm^2 pada skala planimeter adalah 10.

Volume dot-grid : $vd = A \cdot P$

$$= \pi \cdot ¼ \cdot d^2 \cdot t$$

$$= \pi \cdot ¼ \cdot (10\ cm)^2 \cdot 100\ cm$$

$$= 0{,}007854\ m^3$$

Luasan grafik di bawah kurva hasil pengukuran planimeter sebesar 583,1.

Volume pohon : $V = L \cdot vd$

$$= 583{,}1 \times 0{,}007854\ m^3 = 4{,}5797\ m^3.$$

Adapun volume batang dihitung dengan rumus Brereton (dp = 63,5 cm; du = 48,7 cm; p = 18,5 m) = 4,5747 m^3.

D. Model Pendugaan Volume

1. Teori pendekatan model

Berdasarkan pendekatan bentuk batang (dari pangkal sampai ujung) terhadap benda-benda putar (*neiloid*, *silindris*, *paraboloid* dan *paraboloid cone*), maka untuk perhitungannya didekati dengan dua cara yaitu volume merupakan fungsi dari diameter dan tinggi secara matametika (cara regresi); dan memperhatikan grafik bentuk batang dari pangkal sampai ujung melalui intergrasi persamaan taper.

a. Persamaan regresi

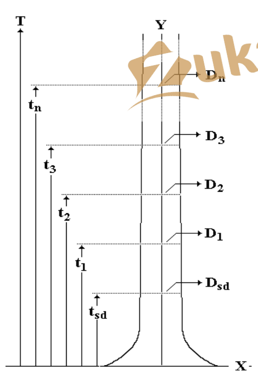
Cara ini memperhatikan hubungan dua sifat dalam suatu persamaan regresi. Volume pohon dinyatakan sebagai fungsi dari diameter (Dsd) dan tinggi (T) atau V = f (Dsd;T). Karena umumnya terdapat hubungan yang erat antara diameter dengan tinggi, maka volume diduga hanya berdasarkan diameternya dan dinyatakan pula sebagai fungsi V = f (Dsd). Selanjutnya dikembangkan dalam beberapa model persamaan regresi untuk menduga volume pohon seperti disajikan pada Lampiran 6-3.

Model-model persamaan tersebut sebagai penduga volume pohon dapat dilakukan pada seluruh batang dengan kulit atau tanpa kulit, batang bebas dengan kulit atau tanpa kulit atau sampai pada diameter batang 10 cm (atau 7 cm) dengan kulit atau tanpa kulit.

b. Persamaan taper

Taper diartikan sebagai suatu bentuk benda yang meruncing. Taper pada pohon diartikan sebagai pengurangan atau makin mengecilnya diameter batang dari pangkal hingga ke ujung.

Persamaan taper merupakan persamaan hasil dari jabaran bentuk batang dari pangkal sampai ujung yang tersusun ke dalam bentuk gambar berupa grafik. Pengertian ini disajikan seperti Gambar 6.18.



Hubungan diameter (D_1, D_2, D_3, …, D_n) di sepanjang batang dengan Dsd , tinggi tertentu (T) dan ketinggian (t_1, t_2, t_3, …, t_n) dari diameter yang bersangkutan dan secara matematis dinyatakan sebagai D_n = f (Dsd, T, t_n).

Gambar 6.18. Hubungan ketinggian dengan diameter sebagai dasar penyusunan model taper.

Dari hubungan fungsi ini diperoleh model pendugaan volume pohon yaitu dengan mengintegralkannya untuk batas bawah integral adalah tinggi tunggak (o) dan batas atas integral adalah tinggi tertentu (T) yang secara matematis dinyatakan sebagai :

$$V = \pi \int_{o}^{T} [\,½\,\{ f\,(Dsd\,, T\,, t\,)\}]^2.$$

Untuk hubungan antara ketinggian (t_1, t_2, t_3, …, t_n) diameter yang bersangkutan (D_1, D_2, D_3, …, D_n) dinyatakan sebagai $t_n = f\,(Dsd, T, D_n)$.

Cara taper ini dapat pula digunakan untuk menduga volume pohon dengan sortmen-sortimen kayu bulat tertentu. Bila panjang kayu bulat dijadikan pembatas utama untuk sortimen tertentu, maka batas atas integral adalah panjang batang (t_n) yang diinginkan. Tapi bila diameter ujung (D_n) dijadikan pembatas panjang sortimen, maka diameter pembatas tersebut (D_n) disubstitusikan ke dalam persamaan fungsi t_n dan hasilnya (h dugaan) dijadikan sebagai pembatas atas dari integrasi.

$$V = \pi \int_{o}^{t_n} [\,½\,\{ f\,(Dsd\,, T\,, D_n\,)\}]^2$$

Beberapa model persamaan taper antara lain :

$$(D_n / Dsd)^2 = b_0 + b_1\,(t_n./ T) + b_2\,(D_n / Dsd)^2$$

$$(D_n / Dsd) = (t_n / T) \,/\, \{b_0\,(t_n / T) + b_1\}$$

$$\log D_n = b_0 + b_1 \log (Dsd) + b_2 \log (T) + b_3 \log (t_n)$$

dimana:

D_n = diameter tertentu di sepanjang batang

t_n = tinggi pada diameter tertentu (D_n)

Kelemahan model pendugaan dengan integrasi persamaan taper bahwa model persamaan hanya terbatas untuk menduga volume batang dan tidak dapat menduga volume cabang pohon.

Sehingga model pendugaan hanya terbatas pada volume batang dengan kulit dan tanpa kulit.

2. Keabsahan model

Untuk mengetahui tingkat ketelitian model dugaan didasarkan pada besaran nilai simpangan agresif (SA) dan rataan persentase simpangan (SR). Perhitungan keduanya sebagai berikut :

$$SA = \{ (\sum Vd - \sum Va) / \sum Vd \} \times 100\%$$

$$SR = \{ \sum \left| (Vd - Va) / Vd \right| \times 100\% \} / N$$

dimana: Vd = volume dugaan (berdasarkan model pendugaan volume)
Va = volume aktual (berdasarkan data)
N = jumlah data

Model pendugaan yang dianggap baik bila nilai hasil perhitungan SA lebih kecil dari 1% dan nilai SR lebih kecil dari 10%.

LAMPIRAN

Tabel Lampiran 1.1. Konversi satuan ukuran

a. Satuan ukuran panjang

Unit	cm	dm	m	inch	foot	yard
cm	1	0,1	0,01	0,3937	0,0328	$1{,}0936.10^{-2}$
dm	10	1	0,1	3,937	0,3281	$1{,}0936.\ 10^{-1}$
m	100	10	1	39,37	3,281	1,0936
inch	2,54	0,254	0,0254	1	0,0833	$2{,}77.10^{-2}$
foot	30,48	3,048	0,3048	12	1	0,333
yard	91,44	9,144	0,9144	36	3	1

Konversi lain:

1 rod setara dengan 5,5 yard atau 16,5 foot;

1 rod (pole) = 5,0292 m

1 chain (engin.) = 30,48 m;

1 chain (surv.) = 20,1169 cm

Konversi satuan ukuran berdasarkan ukuran Jepang sebagai berikut :

1 sun = 3,03 cm

1 yo zjo = 303,03 cm

1 zasi = 30,303 cm

1 ri (meile) = 3927,3 m

1 ken = 6,3 kanesasi

Tabel Lampiran 1.1. (lanjutan)

b. Satuan ukuran luas

Unit	cm^2	dm^2	m^2	ha	sq.inch	sq.foot	sq.yard	acre
cm^2	**1**	**10^{-2}**	**10^{-4}**	**10^{-8}**	**0,155**	**$1{,}076.10^{-3}$**	**$1{,}196.10^{-4}$**	**$2{,}471.10^{-8}$**
dm^2	**10^2**	**1**	**10^{-2}**	**10^{-6}**	**15,5**	**0,1076**	**$1{,}196.10^{-2}$**	**$2{,}471.10^{-6}$**
m^2	**10^4**	**10^2**	**1**	**10^{-4}**	**$15{,}50.10^2$**	**10,764**	**1,195994**	**$2{,}471.10^{-4}$**
ha	**10^8**	**10^6**	**10^4**	**1**	**$15{,}50.10^6$**	**$10{,}764.10^4$**	**$1{,}196.10^4$**	**2,471062**
square inch	**6,5416**	**$6{,}4516.10^{-2}$**	**$6{,}5416.10^{-4}$**	**$6.4516.10^{-8}$**	**1**	**$6{,}944.10^{-3}$**	**$7{,}716.10^4$**	**$1{,}594.10^{-7}$**
square foot	**929,03**	**9,2903**	**$9{,}29.10^{-2}$**	**$9{,}29.10^{-6}$**	**144**	**1**	**1,111**	**$2{,}296.10^{-5}$**
square yard	**8361,26**	**83,6126**	**0,836126**	**$0{,}83613.10^{-5}$**	**1296**	**9**	**1**	**$2{,}066.10^{-4}$**
acre	**$4.047.10^7$**	**$4{,}047.10^5$**	**$4{,}047.10^3$**	**0,4047**	**$6{,}2726.10^6$**	**43560**	**4840**	**640**

Konversi lainnya : 1 are = 100 m^2 ; 1 sq.rod = 30,25 sq.yd. = 272,35 sq.ft.

Konversi berdasarkan ukuran Jepang sebagai berikut : 1 tan = 300 tsubo; 1 tsubo = 3,3058 m^2

1 tsjoo = 10 tan = 3000 tsubo = 0,9917 ha ≈ 1ha

c. Satuan ukuran volume

Unit	cm^3	dm^3	fm	cubic inch	cubic foot	cubic yard	board foot	Hoppus ft	Standard
cm^3	1	10^{-3}	10^{-6}	0,06102	$3,531.10^{-5}$	$1,3080.10^{-6}$	$0,4238.10^{-3}$	$0,277.10^{-4}$	$2,154.10^{-7}$
dm^3	10^3	1	10^{-3}	61,0239	0,03531	$1,3080.10^{-3}$	0,4237	0,0277	$2,154.10^{-4}$
fm = 1 m^3	10^6	10^3	1	61023,9	35,31	1,3080	423,7	27,7	$2,154.10^{-1}$
cubic inch	16,387	0,016387	$1,638.10^{-5}$	1	$5,787.10^{-4}$	$2,1433.10^{-5}$	$6,944.10^{-3}$	$4,545.10^{-4}$	$3,5073.10^{-6}$
cubic foot	28316,8	28,3168	0,028317	1728	1	0,03704	12	0,7854	0,0061
cubic yard	$76,45.10^{-4}$	764,55	0,76455	46656	27	1	324	21,21	0,1647
board foot	2359,73	2,35973	0,002359	143,99	0,0833	0,00308	1	0,06583	$3,05.10^{-4}$
hoppus foot	$3,605.10^{-4}$	36,05	0,03605	2200,08	1,2732	0,0472	15,278	1	0,00773
standard (Petersburg)	$4,672.10^{-6}$	$4,672.10^{-3}$	4,672	$285,1.10^3$	165	6,11	1980	129,59	1

Konversi berdasarkan ukuran Jepang sebagai berikut : 1 sai = 0,01815 m^3 ; 1 ken^3 = 6,0105 m^3

Tabel Lampiran 2.1. Besaran sudut φ dalam satuan derajat dan nilai cosinusnya

Sudut φ		**Sudut φ**		**Sudut φ**	
α	**cos(α)**	**α**	**cos(α)**	**α**	**cos(α)**
0	1				
1	0.9998	31	0.8572	61	0.4848
2	0.9994	32	0.8480	62	0.4695
3	0.9986	33	0.8387	63	0.4540
4	0.9976	34	0.8290	64	0.4384
5	0.9962	35	0.8192	65	0.4226
6	0.9945	36	0.8090	66	0.4067
7	0.9925	37	0.7986	67	0.3907
8	0.9903	38	0.7880	68	0.3746
9	0.9877	39	0.7771	69	0.3584
10	0.9848	40	0.7660	70	0.3420
11	0.9816	41	0.7547	71	0.3256
12	0.9781	42	0.7431	72	0.3090
13	0.9744	43	0.7314	73	0.2924
14	0.9703	44	0.7193	74	0.2756
15	0.9659	45	0.7071	75	0.2588
16	0.9613	46	0.6947	76	0.2419
17	0.9563	47	0.6820	77	0.2250
18	0.9511	48	0.6691	78	0.2079
19	0.9455	49	0.6561	79	0.1908
20	0.9397	50	0.6428	80	0.1736
21	0.9336	51	0.6293	81	0.1564
22	0.9272	52	0.6157	82	0.1392
23	0.9205	53	0.6018	83	0.1219
24	0.9135	54	0.5878	84	0.1045
25	0.9063	55	0.5736	85	0.0872
26	0.8988	56	0.5592	86	0.0698
27	0.8910	57	0.5446	87	0.0523
28	0.8829	58	0.5299	88	0.0349
29	0.8746	59	0.5150	89	0.0175
30	0.8660	60	0.5000	90	0

Tabel Lampiran 2.2. Besaran sudut φ dalam satuan persen dan nilai cosinusnya

Sudut φ		Sudut φ		Sudut φ	
p	**cos**(0,45**.**p)	**p**	**cos**(0,45**.**p)	**p**	**cos**(0,45**.**p)
0	0.00	40	18.00	80	36.00
1	0.45	41	18.45	81	36.45
2	0.90	42	18.90	82	36.90
3	1.35	43	19.35	83	37.35
4	1.80	44	19.80	84	37.80
5	2.25	45	20.25	85	38.25
6	2.70	46	20.70	86	38.70
7	3.15	47	21.15	87	39.15
8	3.60	48	21.60	88	39.60
9	4.05	49	22.05	89	40.05
10	4.50	50	22.50	90	40.50
11	4.95	51	22.95	91	40.95
12	5.40	52	23.40	92	41.40
13	5.85	53	23.85	93	41.85
14	6.30	54	24.30	94	42.30
15	6.75	55	24.75	95	42.75
16	7.20	56	25.20	96	43.20
17	7.65	57	25.65	97	43.65
18	8.10	58	26.10	98	44.10
19	8.55	59	26.55	99	44.55
20	9.00	60	27.00	100	45.00
21	9.45	61	27.45	101	45.45
22	9.90	62	27.90	102	45.90
23	10.35	63	28.35	103	46.35
24	10.80	64	28.80	104	46.80
25	11.25	65	29.25	105	47.25
26	11.70	66	29.70	106	47.70
27	12.15	67	30.15	107	48.15
28	12.60	68	30.60	108	48.60
29	13.05	69	31.05	109	49.05
30	13.50	70	31.50	110	49.50
31	13.95	71	31.95	111	49.95

Sudut φ	
32	14.40
33	14.85
34	15.30
35	15.75
36	16.20
37	16.65
38	17.10
39	17.55

Sudut φ	
72	32.40
73	32.85
74	33.30
75	33.75
76	34.20
77	34.65
78	35.10
79	35.55

Sudut φ	
112	50.40
113	50.85
114	51.30
115	51.75
116	52.20
117	52.65
118	53.10
119	53.55

Tabel Lampiran 2.2. (lanjutan)

Sudut φ	
p	**cos**(0,45.p)
120	54.00
121	54.45
122	54.90
123	55.35
124	55.80
125	56.25
126	56.70
127	57.15
128	57.60
129	58.05
130	58.50
131	58.95
132	59.40
133	59.85
134	60.30
135	60.75
136	61.20
137	61.65
138	62.10
139	62.55
140	63.00
141	63.45
142	63.90

Sudut φ	
p	**cos**(0,45.p)
147	66.15
148	66.60
149	67.05
150	67.50
151	67.95
152	68.40
153	68.85
154	69.30
155	69.75
156	70.20
157	70.65
158	71.10
159	71.55
160	72.00
161	72.45
162	72.90
163	73.35
164	73.80
165	74.25
166	74.70
167	75.15
168	75.60
169	76.05

Sudut φ	
p	**cos**(0,45.p)
174	78.30
175	78.75
176	79.20
177	79.65
178	80.10
179	80.55
180	81.00
181	81.45
182	81.90
183	82.35
184	82.80
185	83.25
186	83.70
187	84.15
188	84.60
189	85.05
190	85.50
191	85.95
192	86.40
193	86.85
194	87.30
195	87.75
196	88.20

143	64.35	170	76.50	197	88.65
144	64.80	171	76.95	198	89.10
145	65.25	172	77.40	199	89.55
146	65.70	173	77.85	200	90.00

Tabel Lampiran 4.1. Konversi sudut φ dari satuan derajat ke satuan persen dan sabaliknya

a. Konversi dari satuan derajat ke satuan persen

Konversi sudut φ		**Konversi sudut φ**		**Konversi sudut φ**	
α	**p**	**α**	**p**	**α**	**p**
0	0	30	66.67	60	133.33
1	2.22	31	68.89	61	135.56
2	4.44	32	71.11	62	137.78
3	6.67	33	73.33	63	140.00
4	8.89	34	75.56	64	142.22
5	11.11	35	77.78	65	144.44
6	13.33	36	80.00	66	146.67
7	15.56	37	82.22	67	148.89
8	17.78	38	84.44	68	151.11
9	20.00	39	86.67	69	153.33
10	22.22	40	88.89	70	155.56
11	24.44	41	91.11	71	157.78
12	26.67	42	93.33	72	160.00
13	28.89	43	95.56	73	162.22
14	31.11	44	97.78	74	164.44
15	33.33	45	**100**	75	166.67
16	35.56	46	102.22	76	168.89
17	37.78	47	104.44	77	171.11
18	40.00	48	106.67	78	173.33
19	42.22	49	108.89	79	175.56
20	44.44	50	111.11	80	177.78
21	46.67	51	113.33	81	180.00
22	48.89	52	115.56	82	182.22
23	51.11	53	117.78	83	184.44

Konversi sudut φ	
24	53.33
25	55.56
26	57.78
27	60.00
28	62.22
29	64.44

Konversi sudut φ	
54	120.00
55	122.22
56	124.44
57	126.67
58	128.89
59	131.11

Konversi sudut φ	
84	186.67
85	188.89
86	191.11
87	193.33
88	195.56
89	197.78
90	200.00

Tabel Lampiran 4.1. (lanjutan)

b. Satuan persen ke satuan derajat

Konversi sudut φ	
p	**α**
0	0.00
1	0.45
2	0.90
3	1.35
4	1.80
5	2.25
6	2.70
7	3.15
8	3.60
9	4.05
10	4.50
11	4.95
12	5.40
13	5.85
14	6.30
15	6.75
16	7.20
17	7.65
18	8.10
19	8.55
20	9.00
21	9.45
22	9.90

Konversi sudut φ	
p	**α**
40	18.00
41	18.45
42	18.90
43	19.35
44	19.80
45	20.25
46	20.70
47	21.15
48	21.60
49	22.05
50	22.50
51	22.95
52	23.40
53	23.85
54	24.30
55	24.75
56	25.20
57	25.65
58	26.10
59	26.55
60	27.00
61	27.45
62	27.90

Konversi sudut φ	
p	**α**
80	36.00
81	36.45
82	36.90
83	37.35
84	37.80
85	38.25
86	38.70
87	39.15
88	39.60
89	40.05
90	40.50
91	40.95
92	41.40
93	41.85
94	42.30
95	42.75
96	43.20
97	43.65
98	44.10
99	44.55
100	45.00
101	45.45
102	45.90

Konversi sudut φ	
23	10.35
24	10.80
25	11.25
26	11.70
27	12.15
28	12.60
29	13.05
30	13.50
31	13.95
32	14.40
33	14.85
34	15.30
35	15.75
36	16.20
37	16.65
38	17.10
39	17.55

Konversi sudut φ	
63	28.35
64	28.80
65	29.25
66	29.70
67	30.15
68	30.60
69	31.05
70	31.50
71	31.95
72	32.40
73	32.85
74	33.30
75	33.75
76	34.20
77	34.65
78	35.10
79	35.55

Konversi sudut φ	
103	46.35
104	46.80
105	47.25
106	47.70
107	48.15
108	48.60
109	49.05
110	49.50
111	49.95
112	50.40
113	50.85
114	51.30
115	51.75
116	52.20
117	52.65
118	53.10
119	53.55

Tabel Lampiran 4.1. (lanjutan)

c. Satuan persen ke satuan derajat (lanjutan)

Konversi sudut φ	
p	**α**
120	54.00
121	54.45
122	54.90
123	55.35
124	55.80
125	56.25
126	56.70
127	57.15
128	57.60
129	58.05
130	58.50
131	58.95
132	59.40

Konversi sudut φ	
p	**α**
147	66.15
148	66.60
149	67.05
150	67.50
151	67.95
152	68.40
153	68.85
154	69.30
155	69.75
156	70.20
157	70.65
158	71.10
159	71.55

Konversi sudut φ	
p	**α**
174	78.30
175	78.75
176	79.20
177	79.65
178	80.10
179	80.55
180	81.00
181	81.45
182	81.90
183	82.35
184	82.80
185	83.25
186	83.70

Konversi sudut φ	
133	59.85
134	60.30
135	60.75
136	61.20
137	61.65
138	62.10
139	62.55
140	63.00
141	63.45
142	63.90
143	64.35
144	64.80
145	65.25
146	65.70

Konversi sudut φ	
160	72.00
161	72.45
162	72.90
163	73.35
164	73.80
165	74.25
166	74.70
167	75.15
168	75.60
169	76.05
170	76.50
171	76.95
172	77.40
173	77.85

Konversi sudut φ	
187	84.15
188	84.60
189	85.05
190	85.50
191	85.95
192	86.40
193	86.85
194	87.30
195	87.75
196	88.20
197	88.65
198	89.10
199	89.55
200	90.00

Tabel Lampiran 6.1. Persamaan volume untuk pohon berdiri (sistem metrik).

Peubah bebas	Persamaan	Penulis
Satu peubah d	$V = b_0 + b_1 D^2$ atau $V = b_0 + b_1 G$	Kopezky-Gehrhardt
	$V = b_1 D + b_2 D^2$	Dissescu-Meyer
	$V = b_0 + b_1 D + b_2 D^2$	Hohenadl-Krenn
	$V = b_0 D^{b1}$	Berkhout
	$\log V = b_0 + b_1 \log D^{1}/_{D}$	Husch (lokal)
	$\log V = b_0 + b_1 \log D + b_2$	Brenac
Dua peubah d, h	$V = b_1 D^2H$ $V = b_0 + b_1 D_2H$	Spurr
	$V = D_2 (b_0 + b_1 H)$	Ogaya
	$V = b_0 + b_1 D^2 + b_2 D^2H + b_3 H$	Stoate
	$V = b_1 D^2 + b_2 D^2H + b_3 DH^2 + b_4H^3$	Naslund
	$V = b_0 + b_1 D + b_2 D^2H + b_3 DH^2 + b_4H$ $V = b_0 + b_1 D^2 + b_2 D^2H + b_3 DH^2$	Meyer

Peubah bebas	Persamaan	Penulis
	$V = \dfrac{DH^2}{b_0 + b_1 D}$	Takata
	$\log V = b_0 + b_1 \log D + b_2 \log H$	Schumacher-Hall
	$\log V = b_0 + b_1 \log (D^2H)$	Spurr
	$\log V = b_0 + b_1 \log D + b_2 \log^2 D + b_3 \log H + b_4 \log^2 H$	FRI Jerman
Kombinasi d, h, h_c	$V_{spruce} = b_1 D^2 + b_2 D^2H + b_3 DH^2 + b_4 H^2 + b_5 D^2Hc$ $V_{pinus} = b_1 D^2 + b_2 D^2H + b_3 DH^2 + b_4 D^2Hc + b_5 DHB$ $V_{birch} = b_1 D^2 + b_2 D^2H + b_3 DH^2 + b_4 H^2 + b_5 DHB$	Naslund
d, h, k_i	$V = b_0 + b_1 H_i D^2H = b_0 + b_1 D_i DH$ $V = b_0 + b_1 K_i + b_2D^2H + b_3K_iDH$	Spurr
d_i	$V = D^2H\,[\,b_0 + b_1 K + b_2 \frac{1}{KH}\,]$	Schiffel
$d_{0,3h}$	$V = b_0 + b_1 D_{0,3H} DH$	Ogaya
	$V = [\,b_0 + b_1 DD_{0,3H} H + b_2H^2\,]$	Pollanschhutz
	$V = b_0 + b_1 D + b_2 H + b_3 D_7 + b_4 DH + b_5 D^2 + b_6 H^2 + b_7 D_7{}^2 + b_8 HD_7{}^2 + b_9 D^2D_7 + b_{10} DH^2D_7$	Schmid
	$\log V = b_0 + b_1 \log D + b_2 \log H + b_3 \log D_i$ $\log V = b_0 + b_1 \log (D_iDH)$	Spurr (log)

Sumber : Loetsch, F. and F. Zöhrer, 1973.

Keterangan :

G = bidang dasar setinggi dada

V = volume (m^3)

H = tinggi total

D = diameter setinggi dada (1,30 m)

H_c = tajuk setinggi c

D_i = diameter setinggi i meter
B = tebal kulit (ganda = dikali 2)
$D_{0,3H}$ = diameter setinggi 0,3 dari tinggi total
K = $(D_{0,5H} / D)$; kusen bentuk
$D_{0,5H}$ = diameter setinggi 0,5 dari tinggi total
K = (D_i / D) ; kusen bentuk
Tabel Lampiran 6.2. Persamaan volume untuk pohon berdiri (sistem British).

ARISMATIK	
a. ***Non Kelas Bentuk***	
$V = aD^2H$	Faktor bentuk konstan
$V = a + bD^2H$	Peubah terkombinasi
$V = a + bD^2 + cH + dD^2H$	Model Australia
$V = a + bD + cDH + dD^2 + eD^2H$	Modifikasi Meyer
$V = a + bD + cDH + dD^2 + eH + fD^2H$	Komprehensif
$V = a + bD^2 + cD^2H + dH^2 + eDH^2$	NASLUND
$V = D^2H / (a + bD)$	TAKATA
b. ***Kelas Bentuk***	
$V = a + bFD^2H$	Potong kompas
$V = a + bF + cD^2H + dFD^2H$	Peubah terkombinasi
LOGARITMIK	
a. ***Non Kelas Bentuk***	
$V = aD^b$ $\log V = \log a + b \log D$	Tabel lokal
$V = aD^bH^c$ $\log V = \log a + b \log D + c \log H$	SCHUMACHER
$V = a(D+1)^bH^c$ $\log V = \log a + b \log (D + 1) + c \log H$	KORSUN
$V = aD^bH^{(3-c)}$ $\log V = \log a + b \log D + (3-c) \log H$	DWIGHT
$V = a(D^2H)^b$ $\log V = \log a + b \log (D^2H)$	Peubah terkombinasi
$V = a(H/D)^bD^2H$ $\log V = \log a + b \log (H/D) + \log (D^2H)$	THORNBER
b. ***Kelas Bentuk***	
$V = aD^2H^cD_u^d$	Diameter bentuk

log V = log a + b log D + c log H + d log D_u	
$V = a(FD^2H)^b$ log V = log a + b log (FD^2H)	Peubah terkombinasi

Sumber : Banyard (1973) dalam Simon (1996)

Keterangan :

V = volume (cu.ft)
D = diameter setinggi dada
Du = diameter puncak setinggi u ft
H = tinggi total
F = koefisien bentuk atau kusen GIRARD

Tabel Lampiran 6.3. Model persamaan regresi untuk menduga volume pohon

Peubah bebas	Persamaan
Satu peubah ***d***	V = a + b log(Dsd)
	V = a $(Dsd)^b$
	V = a + b log(Dsd) + c (Dsd)
Dua peubah ***d, t***	V = a + b log(Dsd) + c log(T)
	V = a $(Dsd)^b$ $(T)^c$
	V = a $(Dsd)^2$. (T)
	V = a + b $(Dsd)^2$. (T)
	V = a + b $(Dsd)^2$ + c (T) + d $(Dsd)^2$.(T)
	V = a + b (Dsd) + c (Dsd.T) + d $(Dsd)^2$ + e $(Dsd)^2$.(T)
	V = a + b (Dsd) + c (Dsd.T) + d $(Dsd)^2$ + e (T) + f $(Dsd)^2$. (T)
	V = a + b $(Dsd)^2$ + c $(Dsd)^2$. (T) + d $(T)^2$ + e $(Dsd.T^2)$
	V = {$(Dsd)^2$ .T } {a + b (Dsd)}
	V = a $(Dsd + 1)^b$ + $(T)^c$
	V = a $(Dsd)^b$ + $(T)^{(3-b)}$.
	V = a $\{(Dsd)^2 .T\}^b$
	V = a $\{T/(Dsd)\}^b$ $\{(Dsd)^2.T\}$

Keterangan : V = volume pohon (m3)

Dsd = diameter setiggi dada (cm)

T = tinggi pohon