Jurnal Manajemen Hutan Tropika Vol. V, No. 2 : 33-44 (1999) Artikel (Article)

ANALISIS BEBERAPA RUMUS PENDUGA VOLUME LOG: Studi kasus pada jenis Meranti (Shorea spp.) di areal HPH PT Siak Raya Timber, Propinsi Riau

Analyzing Some Formulae of Log Volume Estimation: Case Study on Shorea spp. in the Forest Concession Area of PT Siak Raya Timber, Riau Province

MUHDIN[1]

ABSTRACT

Determining the stem volume of a tree, both a standing or felled tree, has long been a chronic problem for foresters, whereas, the need for an accurate estimate of wood volume is becoming more important. The us*e of Brereton's formula in Indonesia, nowadays, was based solely on practical* consideration in obtaining the data which comprise diameter of the large and small ends of logs; and logs length. However, the relative accuracy of this formula in comparison with other formulae still needs to be tested.

The result of this study by using 499 logs in PT Siak Raya Timber (Riau Province) showed that *Centroid and Newton's formulae have the best performance (seen from bias, accuracy and* precision) for estimating the log volume of meranti in Sumatera. Bias of both formulae is around *zero and very small, therefore it could be neglected. Huber's formula tends to underestimate the volume, but it has still better performance than Brereton's, Smalian's and Bruce's formula*e. *Brereton's and Smalian's formulae tend to overestimate the volume, whereas Bruce's formula tends to underestimate. Deviation of errors for Brereton's is consistently smaller than Smalian's, and for Bruce's is the largest one. But, precision for Brereton's, Smalian's and Bruce's formulae are nearly* the same.

PENDAHULUAN

Latar Belakang, Permasalahan dan Hipotesis

Kayu merupakan produk yang sangat penting dalam kegiatan pengusahaan hutan, karena itu pengukuran dimensi kayu harus dilakukan dengan cermat agar dapat diperoleh taksiran volume kayu yang akurat yaitu taksiran volume yang mendekati nilai volume yang sebenarnya.

Salah satu cara yang sudah dikenal luas dalam penentuan volume batang pohon adalah dengan menggunakan rumus empiris seperti rumus Brereton, Smalian, Huber, Hoppus dan Newton (Husch, 1963). Bruce (1982) mengemukakan rumus lain yang disebut rumus Bruce, yang merupakan variasi dari rumus Smalian. Sedangkan Wood, et. al. (1990) sejak 1989 mengembangkan cara pendugaan volume dengan menggunakan rumus

---

[1] Staf Pengajar Fakultas Kehutanan IPB Jurusan Manajemen Hutan

Centroid, yang merupakan pengembangan dan kombinasi dari rumus Newton dan persamaan (fungsi) taper.

Di Indonesia, dewasa ini cara pengukuran dan penentuan volume kayu bulat (log) rimba sejak tahun 1970 diatur dalam Surat Keputusan (SK) Direktur Jenderal Kehutanan No. 2442/A-2/DD/1970 tentang Peraturan Pengukuran dan Tabel Isi Kayu Bulat Rimba Indonesia (Anonymous, 1970). Dalam SK tersebut, penentuan volume kayu ditetapkan dengan menggunakan rumus Brereton yang semata-mata berdasarkan pertimbangan kepraktisan dalam memperoleh data yang diperlukan yaitu diameter pangkal dan ujung serta panjang log. Namun dari segi keakuratannya relatif terhadap rumus-rumus empiris yang lain masih harus diuji.

Hipotesis yang ingin diuji dalam studi ini adalah bahwa keakuratan taksiran volume kayu dengan menggunakan rumus Brereton yang selama ini digunakan tidak lebih baik dibanding rumus-rumus empiris yang lain. Untuk menjawab hipotesis tersebut dalam penelitian ini akan digunakan data pengukuran log meranti (Shorea spp.) di Sumatera sebagai studi kasus. Sampai saat ini meranti merupakan salah satu jenis kayu utama hasil hutan alam di Indonesia, terutama di Kalimantan dan Sumatera.

Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah : (1) menguji performansi rumus-rumus (Brereton, Huber, Smalian, Newton, Bruce dan Centroid, Tabel 1) penduga volume log jenis meranti di Sumatera, dengan cara membandingkan ketepatan relatif dari penggunaan rumus-rumus yang berbeda tersebut. Dari hasil studi ini diharapkan dapat diperoleh rumus empiris pendugaan volume log jenis meranti (Shorea spp.) yang paling baik ditinjau dari segi ketelitian dan ketepatannya; (2) mengamati kesalahan sistematis dugaan volume log dalam setiap rumus yang digunakan.

Tabel 1. Rumus-rumus penduga volume log

Nama	Rumus
Brereton (Bt)	$V = ((\pi/4)((b+s)/2)^2)L$ ....(1)
Huber (Hb)	$V = ML$ ....(2)
Smalian (Sm)	$V = ((B+S)/2)L$ ....(3)
Newton (Nt)	$V = ((B+4M+S)/6)L$ ....(4)
Bruce (Bc)	$V = ((B+3S)/4)L$ ....(5)
Centroid (Ct)	$V = SL + (b_1L^2)/2 + (b_2L^3)/3$ ....(6)

di mana :

V = dugaan volume log (m^3)

b = diameter pangkal log (cm/100)

B = luas bidang dasar (lbds) pangkal log (m^2);

M = lbds tengah-tengah log (m^2)

π = nilai phi = 3.14159

s = diameter ujung log (cm/100)

L = panjang log (m)

S = lbds ujung log (m^2)

$b_1 = (B-S-b_2L^2)/L$ ....(7)

$b_2 = (B-C(L/q)-S(1-L/q))/(L^2-Lq)$ ....(8)

C = lbds pada posisi centroid volume log (m^2)

$q = (((b/s)^4 + 1)^{0.5} - 2^{0.5})/(2^{0.5}((b/s)^2 - 1))\ L$ (m) ....(9)

METODE

Letak, Luas dan Topografi

Secara geografis wilayah kerja Hak Pengusahaan Hutan (HPH) PT Siak Raya Timber terletak antara 101°21’ BT - 101°48’ BT dan 0°06’ LU - 0°10’ LU.

Luas areal kerja HPH PT Siak Raya Timber berdasarkan Surat Keputusan (SK) Menteri Kehutanan No. 149/Kpts-II/92 tanggal 17 Pebruari 1992 adalah 81.000 Ha. Sebagian besar dari luasan tersebut, yaitu 74.140 Ha diantaranya masih berhutan sedangkan sisanya, 6.860 Ha areal tidak berhutan. Topografi areal HPH ini bervariasi dari datar sampai bergelombang ringan (kelas lereng 0 - 15%) dan titik tertinggi mencapai 125 m dari permukaan laut.

Menurut sistem klasifikasi Schmidt dan Ferguson, daerah penelitian termasuk tipe iklim A dengan curah hujan tahunan lebih dari 2.000 mm dan nilai Q 8,9. Berdasarkan data dari stasiun pengamat hujan di Pekanbaru (ibu kota propinsi) 6 tahun terakhir (1989 - 1994), curah hujan tahunan rata-rata 2.391 mm dengan 197 hari hujan. Di daerah ini tidak terdapat musim kemarau yang nyata. Bulan-bulan relatif kering berlangsung dari bulan Juni sampai Agustus. Curah hujan tertinggi pada bulan Nopember, sedangkan curah hujan terendah pada bulan Juni. Suhu udara minimum rata-rata bulanan berkisar antara 21,0°C - 22,4°C, suhu udara maksimum rata-rata bulanan berkisar antara 30,9°C - 33,9°C dan suhu udara rata-rata bulanan berkisar antara 25,5°C - 27,4°C. Kelembaban relatif udara rata-rata bulanan berkisar antara 79,7% - 84,7%.

Hutan di areal HPH PT Siak Raya Timber termasuk tipe hutan hujan tropika basah dataran rendah. Berdasarkan fungsi hutannya areal tersebut seluruhnya merupakan Hutan Produksi Terbatas (HPT). Tegakan hutan didominasi oleh jenis-jenis pohon antara lain : meranti (Shorea spp.), keruing (Dipterocarpus spp.), mersawa (Anisoptera costata), bintangur (Calophyllum sp.) dan kelat (Eugenia sp.). Sedangkan tumbuhan bawah selain semai berbagai jenis pohon juga terdiri atas rotan dan tumbuhan semak.

Bahan dan Alat yang Digunakan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah log meranti (Shorea spp.) yang terdapat di tempat pengumpulan sementara (TPN) areal blok tebangan Rencana Karya Tahunan (RKT) 1996/1997, HPH PT Siak Raya Timber, Propinsi Riau. Banyaknya log meranti yang diukur adalah 499 batang. Sedangkan alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah pita ukur, caliper, tally sheet, kalkulator, alat tulis serta seperangkat personal computer dan printer.

Pengukuran Dimensi Log

Dimensi yang diukur pada setiap log adalah panjang (L), diameter pangkal (b), diameter tengah (m), diameter ujung (s) dan diameter pada posisi centroid (c), yaitu diameter log pada jarak L-q meter dari pangkal, di mana q diperoleh dengan persamaan 1-9. Program untuk menghitung L-q (dalam meter) ditulis dan disimpan dalam kalkulator saku merk CASIO (Model fx-4200P. Selain dimensi-dimensi tersebut, pada setiap log juga dilakukan pengukuran diameter pangkal dan ujung setiap seksi, di mana panjang setiap seksi ditetapkan 1 meter atau kurang dari 1 meter untuk seksi pada ujung batang. Semua pengukuran diameter dilakukan terhadap batang tanpa kulit.

Pengolahan Data

Pengolahan data hasil pengukuran dimensi pada setiap log dilakukan untuk mendapatkan hasil-hasil sebagai berikut :

1. Volume log yang sebenarnya (sebagai kontrol) yang dihitung dengan cara menjumlahkan volume setiap seksi pada log tersebut. Volume setiap seksi dihitung dengan rumus Smalian.
2. Volume dugaan setiap log dengan menggunakan masing-masing rumus Brereton, Huber, Smalian, Newton, Bruce dan Centroid (Tabel 1).
3. Simpangan (kesalahan) dugaan volume log pada setiap rumus volume, yang dihitung dengan persamaan sebagai berikut :
   $e_{ij} = V_{ij} - V_i$ ....(11)
   di mana :
   e_{ij} = error dugaan volume log ke-i pada rumus ke-j
   V_{ij} = Volume dugaan log ke-i dengan rumus ke-j
   V_i = Volume sebenarnya (kontrol) log ke-i

Analisis Data

Simpangan volume log (persamaan 11) menggambarkan besarnya penyimpangan dugaan volume log dari volume yang sebenarnya. Ukuran dari ketepatan, ketelitian dan bias dari suatu penduga dalam menduga nilai yang sebenarnya secara berturut-turut dinyatakan oleh besar, penyebaran dan sistematika dari simpangan tersebut. Semakin kecil besarnya simpangan, maka penduga tersebut akan semakin tinggi ketepatannya. Semakin sempit sebaran simpangan, maka akan semakin tinggi ketelitiannya. Dan semakin kecil kesalahan sistematiknya, maka penduga tersebut cenderung semakin tidak berbias.

Bias Dugaan Volume Log

Bias adalah simpangan atau kesalahan sistematis yang nilainya bisa positif atau negatif (Akca, 1995), yang mungkin terjadi oleh karena kesalahan dalam pengukuran, cara pemilihan contoh dan teknik dalam menduga parameter.

Pengamatan bias pada setiap rumus adalah dengan menggunakan rata-rata error (e_j) dan diagram tebaran simpangan terhadap panjang log. Rata-rata simpangan dihitung dengan rumus :

$e_j = (\Sigma e_{ij})/n_j$ ....(12)

atau bila dinyatakan dalam persen :

$e_j = (\Sigma(e_{ij}/V_i))/n_j \times 100\%$ ....(13)

di mana :

n_j = jumlah log dalam rumus ke-j

Ketelitian Dugaan Volume Log

Istilah ketelitian berkaitan dengan pengelompokkan nilai-nilai hasil pengamatan di sekitar nilai rata-ratanya (Akca, 1995). Ketelitian digambarkan oleh nilai simpangan baku sesuai dengan besarnya simpangan nilai-nilai contoh terhadap nilai rata-ratanya sendiri (Husch et al. 1993). Istilah ketelitian juga berkaitan dengan adanya pengulangan dan menggambarkan sejauh mana kedekatan nilai-nilai pengukuran terhadap nilai rata-ratanya (van Laar dan Akca, 1997). Bitterlich (1984) menjelaskan bahwa ketelitian dinyatakan oleh dua ukuran : (1) suatu selang nilai di mana suatu hasil pengukuran bisa termasuk di dalamnya, dan (2) suatu nilai peluang (besarnya kemungkinan) di mana suatu nilai hasil pengukuran akan termasuk dalam suatu selang tertentu.

Selang kepercayaan (CI_j) dan interval toleransi (TI_j) simpangan pendugaan volume log untuk setiap rumus pada tingkat keyakinan 1-α digunakan untuk membandingkan ketelitian dugaan volume log antar rumus. Pada tingkat keyakinan 95%, besarnya selang kepercayaan menyatakan bahwa 95% dari semua simpangan dugaan volume log akan terletak dalam selang tersebut (Reynolds, 1984). Interval toleransi digambarkan oleh besarnya (lebar) selang dari selang kepercayaan. Interval toleransi yang semakin besar menunjukkan bahwa sebaran error semakin lebar sehingga ketelitian juga semakin rendah.

$CI_j = y_j \text{ to } w_j$ .... (14)

$TI_j = w_j - y_j = 2\, z_{(\alpha/2)} s_j$ .... (15)

$w_j = e_j + z_{(\alpha/2)} s_j$ .... (16)

$y_j = e_j - z_{(\alpha/2)} s_j$ .... (17)

$s_j = \sqrt{(Var_j)} = \sqrt{[\{\Sigma(e_{ij} - e_j)^2\}/n_j]}$ .... (18)

di mana :

$z_{(\alpha/2)}$ = nilai z dari tabel sebaran pada tingkat nyata α

Semakin kecil interval toleransi (jika dibandingkan terhadap rumus yang lain) maka dugaan volume log dengan menggunakan rumus tersebut akan semakin teliti.

Ketepatan Dugaan Volume Log

Istilah ketepatan berkaitan dengan besarnya simpangan suatu nilai dugaan terhadap nilai yang sebenarnya (Husch et al. 1993). Pengertian ini sejalan dengan Akca (1995), yang menyatakan bahwa ketepatan menunjukkan keberhasilan di dalam menduga suatu nilai yang sebenarnya (misalnya nilai tengah populasi). Van Laar dan Akca (1997) menjelaskan bahwa ketepatan adalah kombinasi antara bias dan ketelitian di dalam menggambarkan jauh dekatnya nilai-nilai hasil pengamatan terhadap nilai yang sebenarnya.

Untuk membandingkan ketepatan dugaan volume log antar rumus, rata-rata error absolut (MAE_j) dari dugaan volume log pada setiap rumus dihitung dengan menggunakan rumus :

$MAE_j = (\Sigma |e_{ij}|)/n_j$ .... (20)

atau jika dinyatakan dalam persen :

$MAPE_j = (\Sigma(|e_{ij}| / V_i))/n_j \times 100\%$ .... (21)

Rumus yang memiliki nilai MAE atau MAPE yang lebih kecil (jika dibandingkan dengan rumus yang lain), menunjukkan bahwa dugaan volume log dengan rumus tersebut lebih tepat.

Ukuran lain untuk menyatakan ketepatan dari suatu pendugaan adalah rata-rata kuadrat error (MSE), yang dapat diinterpretasikan sebagai : MSE = varians dari error + $(\text{bias})^2$ (Casella and Berger, 1990; Wood and Wiant, 1990; Wiant et al. 1993), dan dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$MSE_j = \Sigma(e_{ij})^2/n_j$ ....(22)

atau jika dalam persen :

$MSPE_j = (\Sigma(e_{ij}/V_i)^2)/n_j \times 100\%$ ....(23)

Rumus yang memiliki nilai MSE atau MSPE yang lebih kecil (jika dibandingkan dengan rumus yang lain), menunjukkan bahwa dugaan volume log dengan rumus tersebut lebih tepat.

HASIL

Data Dasar dan Volume Log

Panjang log berkisar antara 4,10 m - 12,00 m. Diameter pangkal log antara 41,5 cm - 93,8 cm, sedangkan diameter tengah log di antara 39,0 cm - 88,8 cm, diameter posisi centroid antara 38,7 cm - 89,5 cm dan diameter ujung berkisar antara 36,3 cm - 87,9 cm. Statistik untuk data dasar log disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Statistik data dasar log

Peubah	Statistik			
	Minimum	Maksimum	Rataan	Simp.baku
Panjang (m)	4.10	12.00	7.72	1.74
Diameter Pangkal (cm)	41.5	93.8	61.8	10.0
Diameter Centroid (cm)	38.7	89.5	57.7	9.6
Diameter tengah (cm)	39.0	88.8	57.5	9.5
Diameter ujung (cm)	36.3	87.9	54.6	9.3

Error Dugaan Volume Log

Statistik untuk error dugaan volume log diperlihatkan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Statistik error dugaan volume log

Rumus	Statistik					
	ME	Simp. Baku	MAE	MSE	CI*(%)	TI*(%)
Brereton	$0.032m^3$ (1.6%)	$0.093m^3$ (4.3%)	$0.074m^3$ (3.6%)	21.3%	-6.9 to 10.1	17.0
Huber	$-0.020m^3$ (-1.0%)	$0.079m^3$ (3.7%)	$0.061m^3$ (3.0%)	14.8%	-8.3 to 6.3	14.6
Smalian	$0.043m^3$ (2.1%)	$0.095m^3$ (4.4%)	$0.078m^3$ (3.8%)	23.9%	-6.6 to 10.8	17.3
Newton	$0.001m^3$ (0.0%)	$0.055m^3$ (2.7%)	$0.039m^3$ (2.0%)	7.0%	-5.2 to 5.2	10.4
Bruce	$-0.090m^3$ (-4.2%)	$0.100m^3$ (4.4%)	$0.105m^3$ (5.1%)	37.6%	-12.9 to 4.5	17.4
Centroid	$0.001m^3$ (0.0%)	$0.053m^3$ (2.5%)	$0.038m^3$ (1.9%)	6.3%	-4.9 to 4.9	9.9

Keterangan : * pada tingkat kepercayaan 95%

Kelas Panjang Log

Untuk keperluan analisis data, semua log yang berjumlah 499 buah dikelompokkan menjadi tiga kelas panjang, yaitu : < 6.00 m (109 log), 6.00 - 9.00 m (249 log) dan > 9.00 m (141 log). Beberapa statistik error volume log pada setiap kelas panjang disajikan di dalam Tabel 4.

Tabel 4. Statistik untuk error volume log pada setiap kelas panjang

Kelas/	Statistik					
Rumus	ME	Simp. baku	MAE	MSE	CI*(%)	TI*(%)
< 6.00						
Brereton	0.006m^3 (0.5%)	0.061m^3 (3.9%)	0.046m^3 (3.0%)	15.1%	-7.1 to 8.0	15.1
Huber	-0.011m^3 (-0.9%)	0.054m^3 (3.7%)	0.041m^3 (2.9%)	14.7%	-8.2 to 6.4	14.6
Smalian	0.010m^3 (0.7%)	0.061m^3 (3.9%)	0.046m^3 (3.1%)	15.7%	-6.9 to 8.3	15.3
Newton	-0.005m^3 (-0.4%)	0.036m^3 (2.5%)	0.027m^3 (1.9%)	6.4%	-5.3 to 4.5	9.8
Bruce	-0.058m^3 (-3.8%)	0.070m^3 (4.2%)	0.072m^3 (4.7%)	32.2%	-12.1 to 4.4	16.5
Centroid	-0.003m^3 (-0.3%)	0.034m^3 (2.4%)	0.026m^3 (1.8%)	5.8%	-4.9 to 4.4	9.4
6.00-9.00						
Brereton	0.033m^3 (1.8%)	0.088m^3 (4.3%)	0.071m^3 (3.7%)	21.6%	-6.7 to 10.2	16.9
Huber	-0.023m^3 (-1.2%)	0.075m^3 (3.5%)	0.058m^3 (2.9%)	13.8%	-8.1 to 5.7	13.8
Smalian	0.042m^3 (2.2%)	0.090m^3 (4.4%)	0.075m^3 (3.9%)	24.2%	-6.4 to 10.8	17.2
Newton	-0.002m^3 (-0.1%)	0.055m^3 (2.6%)	0.039m^3 (2.0%)	6.9%	-5.2 to 5.1	10.3
Bruce	-0.086m^3 (-4.2%)	0.093m^3 (4.3%)	0.101m^3 (5.0%)	36.1%	-12.7 to 4.3	17.0
Centroid	0.001m^3 (0.0%)	0.052m^3 (2.5%)	0.037m^3 (1.9%)	6.4%	-4.9 to 5.0	9.9
> 9.00						
Brereton	0.053m^3 (2.2%)	0.114m^3 (4.6%)	0.101m^3 (4.1%)	25.7%	-6.8 to 11.1	17.9
Huber	-0.021m^3 (-0.8%)	0.100m^3 (4.0%)	0.079m^3 (3.2%)	16.8%	-8.7 to 7.1	15.8
Smalian	0.069m^3 (2.9%)	0.116m^3 (4.6%)	0.109m^3 (4.4%)	29.8%	-6.2 to 12.0	18.2
Newton	0.009m^3 (0.5%)	0.066m^3 (2.8%)	0.050m^3 (2.1%)	7.8%	-4.9 to 5.9	10.8
Bruce	-0.121m^3 (-4.7%)	0.119m^3 (4.7%)	0.138m^3 (5.5%)	44.4%	-14.0 to 4.5	18.5
Centroid	0.003m^3 (0.1%)	0.066m^3 (2.6%)	0.050m^3 (2.0%)	6.6%	-4.9 to 5.2	10.1

Keterangan : * pada tingkat kepercayaan 95%

Gambar 1. Diagram pencar error volume log (m^3) pada sumbu vertikal terhadap panjang log (m)

PEMBAHASAN

Bias Dugaan Volume Log

Gambar 1 memperlihatkan sebaran error volume log terhadap panjang log. Dari gambar tersebut terlihat jelas bahwa rumus Bruce menghasilkan bias yang negatif, demikian juga halnya dengan rumus Huber. Sebaliknya, rumus Brereton dan Smalian menghasilkan bias yang cenderung positif. Rumus Newton dan Centroid, keduanya menunjukkan fenomena yang mirip, yaitu secara konsisten error volume log terletak di sekitar nol.

Dari Tabel 3, dapat dilihat bahwa rataan error volume log untuk rumus Bruce adalah -0.090 m^3 (-4.2%). Hal ini berarti bahwa rumus Bruce cenderung ”underestimate” (volume dugaan lebih kecil dari pada volume yang sesungguhnya) dalam pendugaan volume log. Rumus Huber juga cenderung “underestimate” tetapi dengan rataan error yang lebih kecil, yaitu, -0.020 m^3 (-1.0%). Sebaliknya, rumus Brereton dan Smalian cenderung “overestimate” dan bias keduanya cenderung lebih besar dibanding rumus Huber, yaitu 0.032 m^3 (1.6%) untuk rumus Brereton dan 0.043 m^3 (2.1%) untuk Smalian. Rumus Newton dan Centroid juga “overestimate”, tetapi bias keduanya sangat kecil, yaitu 0.001 m^3 (0.0%) untuk Newton juga Centroid. Kedua bias ini sedemikian kecilnya sehingga mungkin bisa diabaikan. Sejalan dengan hal itu, Wiant et al. (1992) menyimpulkan bahwa methode Centroid memang tidak bebas dari bias di dalam pendugaan volume pohon, tetapi berdasarkan penelitian pada berbagai jenis pohon baik di Australia maupun USA menunjukkan bahwa bias tersebut dapat diabaikan. Wiant et al. (1993) juga menyimpulkan hasil penelitiannya bahwa bias dari rumus Centroid tidak nyata, sebab erorrnya terletak dekat di sekitar nol.

Tabel 4 memperlihatkan kecenderungan besarnya bias apabila log semakin bertambah panjang. Dari tabel tersebut, terlihat jelas bahwa rumus Bruce selalu “underestimate” dalam menduga volume log. Errornya secara konsisten kurang dari nol dan apabila log semakin panjang, nilai bias negatifnya juga semakin besar.

Bias negatif juga terjadi pada rumus Huber. Bias negatif tersebut nilainya semakin besar bila panjang log meningkat dari kelas terendah ke kelas menengah, kemudian konstan ketika panjang log meningkat ke kelas tertinggi.

Rumus Brereton dan Smalian memiliki kecenderungan bias positif yang sama apabila panjang log meningkat, yaitu bias positif semakin besar dengan bertambahnya panjang log dari kelas panjang log terendah hingga kelas panjang log tertinggi.

Rumus Newton dan Centroid, lagi-lagi memperlihatkan bias terkecil. Berdasarkan kelas panjang, bias berubah dari negatif pada kelas terendah menjadi positif apabila panjang log meningkat ke kelas tertinggi.

Ketelitian Dugaan Volume Log

Dalam penelitian ini, istilah ketelitian digambarkan oleh selang kepercayaan dan interval toleransi, dimana pada $\alpha = 5\%$, menunjukkan keyakinan bahwa 95% error dugaan volume log akan terletak dalam selang tersebut (Wiant et al. 1993; Patterson et al. 1993b; Reynolds, 1984). Selang yang semakin besar menunjukkan sebaran error yang semakin lebar (Wiant et al. 1993), dan itu berarti ketelitian dugaannya semakin rendah.

Pada Tabel 3 dicantumkan interval toleransi untuk semua log (tanpa pengelompokkan terhadap kelas panjang). Dari tabel tersebut terlihat bahwa rumus Centroid memiliki interval toleransi terkecil, 9.9%. Hal itu berarti bahwa rumus Centroid memiliki ketelitian tertinggi di dalam pendugaan volume log. Rumus Newton pada urutan kedua dengan besarnya interval toleransi 10.4%, selanjutnya rumus Huber (14.6%), Brereton (17.0%), Smalian (17.3%) dan kemudian rumus Bruce, yang memiliki interval toleransi hampir sama dengan Smalian dan Brereton (17.4%). Dari nilai selang kepercayaan (Tabel 3), juga terlihat bahwa sebaran error untuk rumus Newton (-4.9% s/d 4.9%) dan Centroid (-5.2% s/d 5.2%) adalah simetris terhadap titik nol. Hal itu berarti bahwa bias keduanya (dalam hal ini rataan errornya) sangat mendekati nilai nol, sehingga besarnya bias tidak nyata. Sebaran error di dalam rumus Huber (-8.3% s/d 6.3%) dan Bruce (-12.9% s/d 4.5%) lebih berat ke arah nilai negatif, sehingga kedua rumus tersebut cenderung "underestimate" dalam menduga volume log. Sebaliknya, rumus Brereton (-6.9% s/d 10.1%) dan Smalian (-6.6% s/d 10.8%) lebih berat ke arah nilai positif, sehingga kedua rumus tersebut cenderung "overestimate" dalam menduga volume log.

Berdasarkan interval toleransi dengan pengelompokkan panjang log (Tabel 4), untuk semua kelas panjang memberikan hasil yang sama seperti di atas, yaitu bahwa rumus Centroid memiliki interval toleransi terkecil, diikuti Newton, Huber, Brereton, Smalian dan kemudian Bruce.

Ketepatan Dugaan Volume Log

Ketepatan dinyatakan oleh rataan absolut error (MAE) atau juga dapat dinyatakan oleh rataan kuadrat error (MSE). Absolut error artinya bahwa error tersebut mengabaikan tanda negatif atau positif. Apabila sebuah rumus memiliki MAE atau MSE yang lebih kecil, itu berarti bahwa rumus tersebut memiliki ketetapan yang lebih baik, demikian juga sebaliknya.

Tabel 3 juga mencantumkan nilai MAE untuk setiap rumus. Rumus Centroid dan Newton memiliki ketepatan yang paling tinggi, sebab kedua rumus tersebut memiliki MAE terkecil, yaitu berturut-turut 0.038 m^3 (1.9%) dan 0.039 m^3 (2.0%), kemudian diikuti rumus Huber dengan MAE 0.061 m^3 (3.0%), Brereton 0.074 m^3 (3.6%), Smalian 0.078 m^3 (3.8%) dan paling besar rumus Bruce dengan MAE 0.105 m^3 (5.1%). Berdasarkan nilai MSE (Tabel 3), juga menunjukkan penomena yang sama.

Menurut Chapman dan Meyer (1949), ketepatan yang baik ditunjukkan oleh nilai MAPE ≤ 8%. Berdasarkan nilai tersebut, maka semua rumus yang dibandingkan memiliki ketepatan yang cukup baik di dalam menduga volume log, karena semua nilai MAPE kurang dari 8%.

Performansi Setiap Rumus Volume Log

Berdasarkan uraian di atas, performansi untuk setiap rumus mulai dari bias terkecil atau ketepatan paling baik atau ketelitian tertinggi dapat diurutkan seperti yang dicantumkan dalam Tabel 5.

Tabel 5. Urutan performansi setiap rumus untuk semua log

Kriteria	Rumus					
	Brereton	Huber	Smalian	Newton	Bruce	Centroid
Bias	4	3	5	1.5	6	1.5
Ketepatan	4	3	5	2	6	1
Ketelitian	4	3	5	2	6	1