STUDI EKSPERIMENTAL HUBUNGAN BALOK-KOLOM *GLULAM* DENGAN PENGHUBUNG BATANG BAJA BERULIR

Rizfan Hermanto^{1*}

¹Mahasiswa / Program Magister / Jurusan Teknik Sipil / Fakultas Teknik Universitas Katolik Parahyangan Pascasarjana, Bandung Korespondensi: rizfanhermanto@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini mempelajari perilaku hubungan balok-kolom glulam yang menggunakan batang baja berulir sebagai penghubung. Benda uji yang dibuat sebanyak 3 spesimen di mana glulam dibuat dengan kayu Meranti. Pengujian menggunakan UTM-Hung Ta dan LVDT untuk pembacaan peralihan. Hasil dari hubungan balok-kolom ini memiliki kekakuan rotasi elastik yang cukup besar yaitu 106.349 - 125.00 kNm/rad dan kekakuan rotasi inelastik antara 27.719 - 65.131 kNm/rad. Penggunaan batang baja berulir meningkatkan daktilitas sambungan di mana daktilitas dan faktor bi-linier yang diperoleh sebesar 2.071 - 2.53 dan 0.261 - 0.551. Tipe kegagalan yang terjadi sesuai dengan prediksi ragam kegagalan kritis yaitu kerusakan pada blok geser kayu akibat gaya tarik yang ditimbulkan batang baja berulir pada serat tarik balok glulam.

Kata kunci : glulam, kuat geser, batang baja berulir, kekakuan rotasi, daktilitas

1. PENDAHULUAN

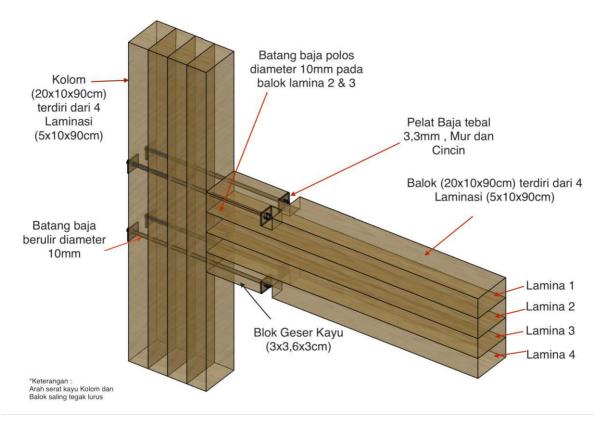
Kayu merupakan material utama dalam bidang konstruksi di Indonesia yang telah digunakan sejak dahulu kala. Hal ini disebabkan oleh banyaknya hutan dengan beragam jenis pohon di seluruh wilayah Indonesia. Penggunaan kayu dalam jumlah masif dalam kurun waktu puluhan tahun ini menyebabkan kayu-kayu utuh di Indonesia tidak lagi memiliki dimensi yang besar. Oleh karena itu dengan kemajuan teknologi, para peneliti melakukan beragam jenis studi eksperimental mengenai kayu rekayasa. Kayu rekayasa yang akan digunakan pada penelitian ini ialah glued laminated timber (glulam) dimana kayu tersebut dapat dibuat dengan dimensi yang besar sehingga dapat digunakan sebagai elemen struktural yaitu balok dan kolom.

Penggunaan batang baja berulir mengakibatkan momen lentur pada balok laminasi akan disalurkan ke kolom dengan mekanisme keseimbangan gaya tarik-tekan melalui batang baja berulir tersebut. Pada serat atas balok, gaya tersebut akan mengakibatkan gaya tekan tegak lurus serat kayu penampang kolom dan gaya tekan sejajar serat pada penampang balok, sedangkan pada serat bawah balok akan mengalami gaya tarik dimana akan menyebabkan kemungkinan kegagalan geser sejajar serat kayu. Perhitungan analisis keseimbangan gaya dilakukan dengan asumsi kontak elemen antar lamina kayu ialah *rigid*.

Mekanisme transfer gaya dianalisa untuk memprediksi ragam kegagalan sambungan, setelah itu dilakukan pendahuluan *properties* kayu dan dilanjutkan dengan pembuatan dan pengujian spesimen. Hasil pengujian eksperimental akan dicocokan dengan perhitungan analisis ragam kegagalan melalui mekanisme tegangan dan momen lentur di mana besarnya gaya yang terjadi dan tahanan nominal ragam kegagalan yang terjadi akan dihitung. Hasil dari pembahasan berupa parameter kekuatan lentur, kekakuan rotasi, dan daktilitas sambungan. Geometri spesimen hubungan balok-kolom glulam penghubung batang baja berulir dapat dilihat pada Gambar 1.

Pembatasan ruang lingkup penelitian ini ialah kayu yang digunakan kayu Meranti. Balok dan kolom tersusun dari 4 lamina dengan masing-masing ketebalan 5 cm, lebar 10cm, dan panjang 90cm sehingga memiliki dimensi 20x10x90 cm.

Batang baja berulir yang digunakan memiliki diameter 10mm dengan jumlah 4 buah dikencangkan dengan pelat baja, mur, dan cincin.



Gambar 1. Rencana benda uji

2. TINJAUAN LITERATUR

Pada penelitian ini hubungan balok-kolom dibebani monotonik pada ujung bebas balok dan akan ditinjau analisisnya di muka kolom. Besarnya momen lentur yang terjadi pada muka kolom ini dapat dihitung dengan persamaan (2.1). Momen lentur ini akan mengakibatkan tegangan tarik dan tekan pada penampang balok di mana tegangan tarik berada pada posisi serat bawah akan diterima oleh batang baja berulir. Gaya tarik pada batang baja berulir (T) dapat dihitung dengan persamaan (2.2)

$$M = P.L \tag{2.1}$$

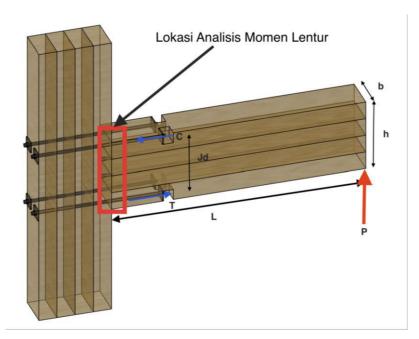
$$T = \frac{M}{Jd} \tag{2.2}$$

Dimana:

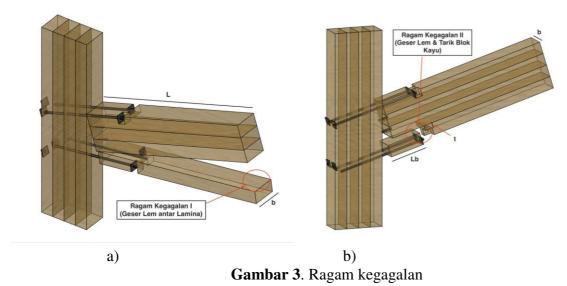
= momen lentur M (kNm) T= gaya tarik batang baja (kN) Jd= jarak gaya tarik (T) ke gaya tekan (C) (m) = beban P (kN) = jarak beban ke kolom (m)

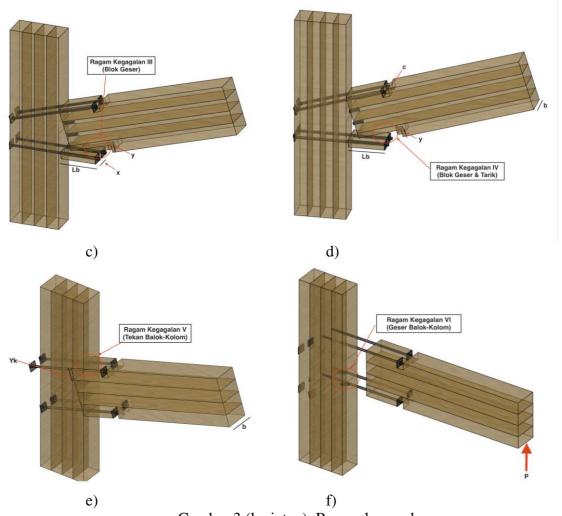
Besarnya gaya tarik pada batang baja berulir ini akan digunakan sebagai beban yang bekerja pada analis ragam kegagalan. Lokasi analisis momen lentur dan skema keseimbangan gaya tarik-tekan dapat dilihat pada Gambar 2.

Mekanisme transfer gaya tersebut menghasilkan potensi terjadinya kegagalan baik pada lamina balok, lamina kolom, dan batang baja berulir dimana hasil analisis ragam kegagalan tersebut divisualisasikan dengan bantuan software AutoCad 2013 seperti pada **Gambar 3** yang dapat berupa a) kegagalan lem antar-lamina, b) kegagalan geser lem & tarik blok kayu, c) kegagalan geser pada blok geser, d) kegagalan blok geser & tarik, e) kegagalan tekan pada kolom, dan f) kegagalan geser antar balok dan kolom.



Gambar 2. Skema keseimbangan gaya tarik-tekan

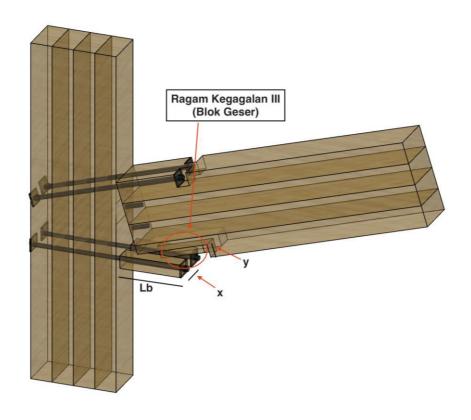




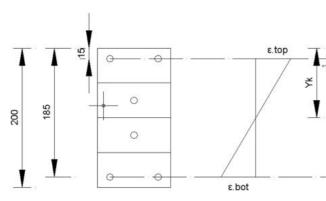
Gambar 3 (lanjutan). Ragam kegagalan

Kekuatan tahanan nominal seluruh ragam kegagalan dihitung dan dianalisis. Hasil perhitungan analisis ragam kegagalan dengan geometri hubungan balok-kolom menunjukkan bahwa ragam kegagalan yang kritis ialah kegagalan blok geser di mana kuat tahanan nominalnya bergantung pada kuat geser sejajar serat kayu dan luas permukaan bidang geser seperti pada gambar 4. Kekuatan blok geser akan ditentukan oleh kekuatan dari kayu digunakan. Besarnya tahanan nominal ragam kegagalan ini dapat dihitung dengan persamaan (2.3). Prediksi ragam kegagalan kritis ini akan dibuktikan dengan uji eksperimental.

$Tn = A_q \cdot F_V$;	
$A_g = L_b \cdot (x + y)$	(2.3)
dengan	
Tn = tahanan nominal blok geser	(N)
$A_{\rm g}$ = luas permukaan blok geser	(mm^2)
F_V = kuat geser sejajar serat kayu	(MPa)
x = lebar blok geser	(mm)
y = tinggi blok geser	(mm)
L_b = panjang blok geser	(mm)
Besarnya gaya tarik batang baja beruli	r seperti
pada persamaan (2.2) dengan tahanan	nominal
seperti pada persamaan (2.3)	akan
mengakibatkan potensi terlepasnya blo	ok geser
seperti pada Gambar 4.	J



Gambar 4. Ragam kegagalan kritis (blok geser)



Gambar 5. Diagram keseimbangan tegangan tekan dan Tarik

Besarnya tegangan kayu pada serat tekan dapat dihitung pada saat elastis dimana besarnya blok tekan ekivalen diasumsikan segitiga seperti pada **Gambar 5**. Besarnya gaya tarik yang terjadi dapat diperoleh dengan mengukur modulus elastisitas dan regangan pada batang baja berulir yang digunakan.

3. PENGUJIAN EKSPERIMENTAL

Pengujian pendahuluan dilakukan pada beberapa sampel kayu yang digunakan untuk benda qiji, beberapa pengujiannya yaitu pengujian kadar air (MC), berat jenis (SG), ▼ modulus elastisitas (MoE), kuat geser (Fv), kuat lentur (Fb), kuat tarik sejajar serat (Ft//), kuat tekan sejajar serat (Fc//), dan kuat tekan tegak lurus serat (Fc). Metode pengujian ini mengikuti standar ASTM D-143-09 "Standard Test Method for Small Clear Specimencs of Timber", Hasil rata-rata pengujiannya dapat dilihat pada Tabel 1. Batang baja berulir yang digunakan memiliki modulus elastisitas sebesar 189426 MPa dengan tegangan leleh sebesar 406 MPa.

Pengujian hubungan balok-kolom pada penelitian ini menggunakan alat bantu *Universal Testing Machine (UTM)* dan *data logger* sebagai penyimpan data regangan yang akan dicatat oleh *strain gauges* pada batang baja berulir.

Tabel 1. Pengujian sifat mekanik kayu

MC (%)	17
SG (gr/cm ³)	0.8
MoE (GPa)	14
Fc// (MPa)	38
Fc (MPa)	9.5
Fb (MPa)	70
Ft// (Mpa)	42
Fv (MPa)	9.0

Tahapan awal pengujian ini ialah pembuatan *glulam* balok dan kolom menggunakan kayu Meranti dan direkatkan oleh lem *PvAc*.

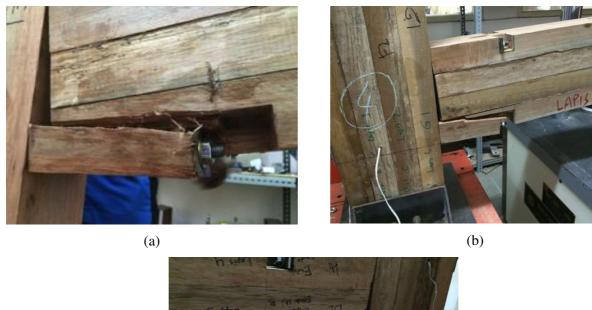
Proses pembuatan balok *glulam* dibantu dengan alat *drilling machine*, tahapan berikutnya ialah perakitan balok-kolom *glulam* menggunakan batang baja berulir yang diberi *strain* gauges kemudian dikencangkan

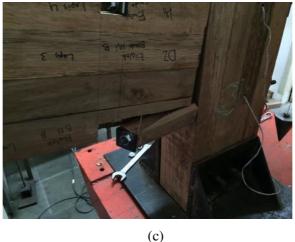
dengan pelat baja,cincin dan mur di kedua ujungnya.

Tahapan akhir ialah setting pengujian yaitu perletakan sendi pada kedua ujung kolom, pemasangan LVDT pada balok, penyambungan kabel strain gauges pada data logger, dan pengaturan beban monotonik dimana benda uji akan dibebani hingga mengalami keruntuhan seperti pada Gambar 6. Benda uji hubungan balok-kolom ini dibuat sebanyak 3 buah, setelah benda uji dibebani maka didapatkan data peralihan dan beban yang akan diolah menjadi hasil analisis momen-rotasi seperti pada Tabel 2. Hasil pengujian menunjukan bahwa kegagalan terjadi pada serat tarik balok glulam dimana blok geser mengalami kegagalan seperti pada Gambar 7. (sesuai dengan hasil analisis ragam kegagalan)



Gambar 6. Kondisi pengujian





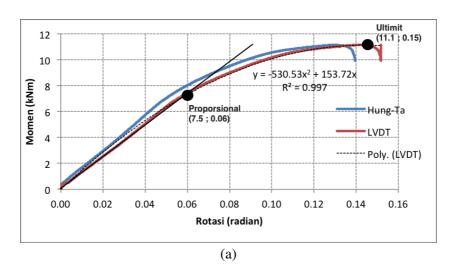
Gambar 7. Kegagalan blok beser (a) Benda Uji A1; (b) Benda Uji A2; (c) Benda Uji A3

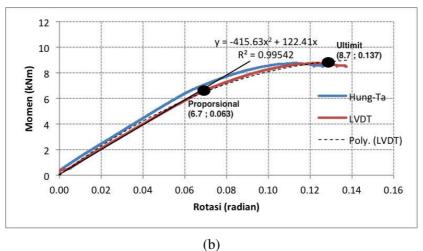
4. ANALISIS HASIL PENGUJIAN

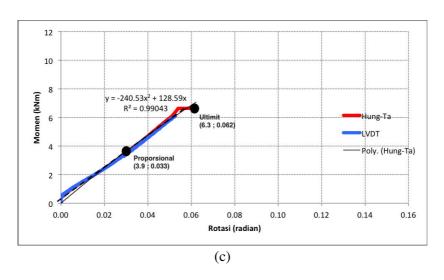
Analisis hasil pengujian ini berupa hubungan momen-rotasi yang diperoleh dari *UTM* seperti pada gambar 6. Momen proporsional diperoleh dari kurva momenrotasi pada saat kurva linier pada puncaknya, besarnya momen ini diperoleh dari beban hasil bacaan *UTM* dengan jarak ke tepi kolom sebesar L = 680mm. Besarnya momen dan rotasi pada kondisi proporsional dan utimit dapat dilihat pada **Gambar 8** dan dirangkum pada **Tabel 2.**

Tabel 2. Hubungan momen – rotasi pada kondisi proporsional dan ultimit

	Proporsional		Ultimit	
	Mp	θр	Mu	θu
	(kNm)	(rad)	(kNm)	(rad)
A1	7.5	0.06	11.1	0.152
A2	6.7	0.063	8.7	0.137
A3	3.9	0.033	6.2	0.068







Gambar 8. Kurva Momen-Rotasi a) Benda Uji A1; b) Benda Uji A2; c) Benda Uji A3

Hasil perhitungan pada **Tabel 2** dihitung dengan persamaan (4.1 - 4.4) di bawah ini dan dihasilkan besarnya kekakuan rotasi pada

kondisi elastik dan inelastik serta didapatkan besarnya faktor bi-linier dan daktilitas hubungan balok-kolom *glulam* dengan

Hasil penghubung batang baja berulir. perhitungan ini dirangkum pada Tabel 3.

$$k_{\theta e} = \frac{M_p}{\theta_n} \tag{4.1}$$

$$k_{\theta e} = \frac{M_p}{\theta_p}$$

$$k_{\theta i} = \frac{M_u - M_p}{\theta_u - \theta_p}$$

$$(4.1)$$

$$\mu = \frac{\theta u}{\theta p}$$

$$R = \frac{k_{\theta i}}{k_{\theta e}}$$

$$A = \frac{k_{\theta i}}{k_{\theta e}}$$

$$(4.3)$$

$$R = \frac{\dot{k}_{\theta i}}{k_{\theta e}} \tag{4.4}$$

dengan:

 M_p = Momen pada kondisi proporsional (kNm)

 M_u = Momen maksimum (kNm)

= Rotasi pada kondisi proporsional (radian)

 θ_u = Rotasi maksimum (radian)

= Daktilitas

 $k\theta_e$ = Kekakuan pada kondisi elastik (kNm/radian)

 $k\theta_i$ = Kekakuan pada kondisi inelastik (kNm/rad)

R = Faktor Bi-Linier

Tabel 3. Kekakuan rotasi kondisi elastik dan plastik – faktor bi-linier - daktilitas

Benda	kθe	kθi	R	μ
Uji	(kNm/rad)	(kNm/rad)		
A1	125	39	0.32	2.53
A2	106	27	0.26	2.18
A3	118	65	0.55	2.07

4.1 Analisis Perhitungan Tegangan

Pada analisis ini, perhitungan menggunakan besaran parameter yang didapat dari uji eksperimental. Hasil dari perhitungan ini dapat digunakan untuk menghitung besarnya momen lentur jika dimensi glulam dan jumlah dari batang baja berulir diubah sesuai dengan rencana desain. Besarnya modulus elastisitas dan regangan yang terjadi pada batang baja berulir digunakan untuk mendapatkan tegangan. Berikut ialah contoh perhitungan analisis sambungan balok-kolom glulam dengan penghubung batang baja berulir benda uji A1 pada kondisi elastik:

1. Hasil pengujian batang baja berulir (sifat mekanik baja)

$$E_s = 189426 \, MPa$$

2. Pembacaan regangan pada kondisi elastik (dengan alat bantu strain gauges dan data logger)

$$\varepsilon_{bot} = 0.002 \qquad \varepsilon_{top} = 0.0003$$

3. Menghitung tegangan batang baja berulir

$$\sigma_{bot} = \varepsilon_{bot} . E_s = 378.85 MPa$$

 $\sigma_{top} = \varepsilon_{top} . E_s = 0 MPa$

(diasumsikan batang mengalami lentur)

4. Menghitung gaya yang terjadi pada batang baja berulir:

$$T_{bot} = 2. A_s \cdot \sigma_{bot} = 50.8 \ kN$$

 $T_{top} = 2. A_s \cdot \sigma_{top} = 0 \ kN$

5. Keseimbangan horizontal (menghitung gaya tekan kayu):

$$\sum_{T_{bot} - T_{top} - C_k = 0}^{H = 0}$$

$$C_k = 50.8kN$$

6. Keseimbangan momen terhadap permukaan atas penampang balok (Gambar 5):

$$M_p = 7.5 \text{ kNm}$$

$$\sum M = 0$$

$$M_p + T_{top}. 15mm + C_k. \frac{Y_k}{3} - T_{bot}. 185m = 0$$

$$Y_k = 110.2mm$$

7. Tegangan kayu (pada kondisi elastik): $\sigma_k = \frac{c_k}{0.5.Y_k.b_k} = 8.75 \ MPa$

Keseimbangan gaya tekan dan tarik menghasilkan besarnya tinggi blok tekan ekivalen sebesar 110.2 mm dan tegangan tekan kayu sebesar 8.75 MPa. Hasil analisis tegangan untuk benda uji A2 dan A3 ditabelkan pada tabel 4. Besarnya tegangan pada kondisi inelastik dapat dihitung dengan memasang *strain gauges* pada permukaan kayu agar didapat data regangan pada kayu yang akan digunakan untuk menghitung tegangan.

Tabel 4. Hasil analisis tegangan dan regangan hubungan balok-kolom

Benda	Gaya	Tinggi	
	Batang	Blok	Tegangan
Uji	Baja	Tekan	Kayu
Uji	Berulir	Kayu	(MPa)
	(kN)	(mm)	
A1	50.8	110.2	8.7
A2	45.5	113.5	7.6
A3	27.8	134.4	3.9

4.2 Analisis Perhitungan Blok Geser

Besarnya tahanan nominal blok geser dapat dihitung dengan persamaan (2.3):

 $Tn = 140mm \cdot (30 + 36)mm \cdot (9.0) \cdot (0.75)$ = 62.37 kN.

Besarnya gaya batang baja berulir pada kondisi ultimit dihitung dengan persamaan (2.2):

$$T = \frac{11.1}{0.17} = 65.28 \,\mathrm{kN}$$

Hasil analisis perhitungan menunjukan bahwa besarnya gaya batang baja berulir yang terjadi pada saat ultimit lebih besar dari tahanan nominal ragam kegagalan blok geser (T > Tn) menyebabkan benda uji mengalami kegagalan blok geser sesuai dengan prediksi analisis ragam kegagalan dan hasil uji eksperimental.

5. KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh dar penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1. Pola ragam kegagalan yang terjadi sesuai dengan hasil analisis ragam kegagalan yaitu kegagalan pada blok geser (gambar 4 dan gambar 6) di mana tahanan nominal blok geser hasil analisis sebesar 62.37 kN dan gaya ultimit hasil uji eksperimental yang terjadi ialah 65.28 kN.
- 2. Kekuatan lentur hubungan balokkolom *glulam* dengan batang baja berulir pada penelitian ini sebesar 3.9 – 7.5 kNm (kondisi proporsional) dan 6.2 – 11.1 kNm (kondisi ultimit).
- 3. Kekakuan rotasi pada kondisi elastik ialah 106–125 kNm/rad, kekakuan rotasi pada kondisi inelastik ialah 27–65 kNm/rad.
- 4. Faktor bi-linier hubungan balokkolom ini ialah 0.26 – 0.55.
- 5. Daktilitas hubungan balok-kolom ini ialah 2.07 2.53 .
- 6. Analisis tegangan pada kondisi elastik menghasilkan besarnya tinggi blok tekan ekivalen sebesar 110.2 134.4 mm dan tegangan tekan kayu yang terjadi sebesar 3.9 8.7 MPa.

6. DAFTAR PUSTAKA

American Society for Testing and Materials. (2009). "Standard Test Method for Small Clear Specimencs of Timber", D143-09

Kretschmann, D.E., Glass, S.V., dkk. (2010). Wood Handbook, Wood as an Engineering Material. Centennial ed. Forest Product Laboratory, Madison, Wisconsin

Tanuwijaya, P.S. (2014), "Perilaku Hubungan Balok-Kolom Kayu Laminasi dengan Sambungan Cepat" Tesis Universitas Katolik Parahyangan Bandung, 2014.

Williamson, T.G (2002). APA Engineered Wood Handbook. McGraw-Hill, New York, NY