

# Simulasi dan Studi Eksperimen Defleksi Beam Bright Mild Steel Akibat Variasi Beban Horisontal

Dewa Ngakan Ketut Putra Negara & Si Putu Gde Gunawan Tista

Jurusan Teknik Mesin, Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

## Abstrak

*Beam merupakan elemen dimana dimensi luas penampangnya relative lebih kecil dibandingkan panjangnya. Beam banyak digunakan dalam konstruksi bangunan gedung, jembatan, automobile dan struktur pesawat terbang. Umumnya beam sering mendapatkan beban bending sehingga menyebabkan terjadi lendutan/defleksi. Dalam perencanaan suatu bagian mesin atau struktur besarnya defleksi memegang peranan penting dan sangat perlu diperhitungkan. Apabila lenturan yang terjadi melewati batas yang diijinkan, dapat menyebabkan kerusakan serius pada bagian-bagian mesin atau struktur karena dapat mengakibatkan komponen menyimpang dari fungsi utamanya. Pada penelitian ini material yang digunakan adalah Bright Mild Steel (ASTM 1060), dengan specimen berupa portal beam. Beban diberikan di salah satu ujung portal beam dalam arah horizontal dengan variasi  $W = 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, \text{ dan } 550 \text{ gr}$ . Parameter yang diamati adalah pengaruh beban terhadap defleksi dalam arah horisontal, dan defleksi yang terjadi diselesaikan dengan simulasi computer dengan model BEAM3 2D. Hasil simulasi dievaluasi dengan menggunakan data eksperimen. Evaluasi dilakukan dengan uji statistic (uji t). Hasil simulasi dikategorikan baik jika hasil simulasi sama dengan hasil eksperimen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pembebanan horizontal berpengaruh secara signifikan terhadap defleksi yang terjadi. Defleksi semakin besar seiring dengan bertambahnya beban. Pemodelan menggunakan BEAM3 2D memberikan hasil simulasi yang baik. Hal ini ditunjukkan dari uji t yang dilakukan, dimana hasil simulasi yang diperoleh sama dengan hasil dari eksperimen.*

**Kata kunci:** simulasi computer, defleksi, beam

## Abstract

# Simulation and Experimental Study of Beam Bright Mild Steel Deflection due to Applied of Horizontal Load

*Beam is a structural member whose cross-sectional dimensions are relatively smaller than its length. Beams play significant roles in many engineering applications, including buildings, bridges, automobiles, and airplane structures. Beams are commonly subjected to transverse loading, which is a type of loading that creates bending in the beam. In designing of a machine component or structure, deflection has an important role to be considered. If deflection occurred exceeds limit allowed, it can affect serious hazard on machine elements or structure due to it can affect of component deviate from its main function. In this research, material to be used was Bright Mild Steel (ASTM 1060), with specimen in the form of portal beam. Physical condition of beam was modeled use of BEAM3 2D. Variation of loads to be applied were  $W = 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, \text{ and } 550 \text{ gr}$  and concentrated in the one of portal in vhorizontal direction. The result of simulation was verificated by experimental data. Evaluation was carried out by statistical test (t-test). The result of simulation is categorized to be good if the result of simulation is same with experimental data. The result of research shows that loading has a significant effect on the deflection. The higher load affect the higher of deflection Modeling use of BEAM3 2D gave good result of deflection. This is showed from t-test have done, where the result of simulation was same with experimental data.*

**Keywords:** computer simulation, deflection, beam.

## 1. PENDAHULUAN

Besarnya lenturan seringkali harus diperhitungkan dalam perencanaan suatu bagian mesin atau struktur disamping perhitungan tegangan (*stress*) yang terjadi akibat beban yang bekerja. Hal ini disebabkan kemungkinan bisa terjadi besar lenturan akibat beban yang bekerja melebihi batas yang diijinkan walaupun tegangan yang terjadi masih lebih kecil daripada tegangan yang diijinkan oleh kekuatan bahan,. Keadaan demikian dapat menyebabkan kerusakan serius pada bagian-bagian mesin atau struktur karena dapat mengakibatkan komponen

menyimpang dari fungsi utamanya. Salah satu tipe elemen yang sering mengalami lenturan (*deflection*) adalah *beam*.

Beam memegang peranan yang penting dalam banyak aplikasi keteknikan, meliputi konstruksi bangunan gedung, jembatan, automobile dan struktur pesawat terbang. Sebuah beam didefinisikan sebagai sebuah struktur dimana dimensi-dimensi lintangnya relative lebih kecil dibandingkan panjangnya [7]. Beam umumnya diperuntukkan mentransfer beban yang mana jenis beban yang dikenakan merupakan beban bending.

Penyelesaian masalah-masalah engineering termasuk masalah struktur seperti *defleksi* pada beam bisa dilakukan dengan beberapa metode, seperti metode analitis, metode numerik dan metode dengan mengukur secara langsung melalui eksperimen. Untuk masalah struktur seperti beam dapat diterapkan metode analitis (seperti metode integrasi, *strain energy*), metode numerik (*Finite Element Analysis*) dan pengukuran secara langsung. Metode analisis biasanya sulit diterapkan untuk masalah yang bersifat kompleks dan kesulitan dalam penentuan kondisi batas. Sedangkan metode numerik terbatas penyelesaiannya pada titik-titik tertentu saja yang disebut *node*. Metode eksperimen memberikan hasil hasil real, namun membutuhkan biaya yang cukup besar untuk kasus-kasus tertentu.

Salah satu cara yang telah dan sedang dikembangkan adalah dengan simulasi, dimana penggunaan software simulasi dalam penyelesaian masalah-masalah struktur, dinamik, fluid mekanik maupun dalam pembentukan logam telah meningkat pada tahun-tahun terakhir. Hal ini karena keuntungan-keuntungan pemecahan masalah dan pengoptimalan proses pada computer lebih murah dibandingkan dengan cara coba-coba di lapangan [3]. Hal ini disebabkan karena masalah-masalah yang dipecahkan dapat dimodelkan dengan pengurangan biaya secara efektif, yang mana permasalahan-permasalahan tersebut beberapa tahun yang lalu hanya dapat dikerjakan secara praktek.

Namun demikian akurasi sebuah simulasi ditentukan oleh banyak factor seperti, pemilihan jenis elemen, jenis dan penempatan pembebanan, property material, pembuatan model komponen dan lain lain. Untuk alasan tersebut hasil-hasil simulasi perlu diverifikasi, salah satu caranya adalah dengan membandingkannya dengan data-data hasil eksperimen. Model fisik yang hendak disimulasikan adalah sebuah *portal beam* yang mendapat beban horizontal pada salah satu ujungnya. Hasil simulasi adalah berupa besarnya defleksi dengan beban yang bervariasi, dan verifikasi dilakukan dengan mengukur besarnya defleksi melalui eksperimen. Dalam studi ini ingin diketahui ada tidaknya perbedaan antara defleksi hasil simulasi dengan defleksi hasil eksperimen

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Teori defleksi

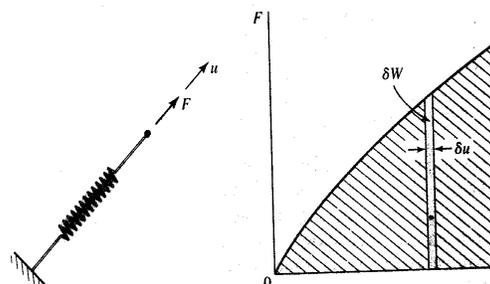
Lenturan pada suatu batang dapat terjadi akibat adanya beban gaya geser atau momen lentur. Lenturan akibat beban geser umumnya sangat kecil dibandingkan dengan lenturan akibat beban momen terutama untuk batang yang relative panjang (beam), sehingga lenturan akibat gaya geser dapat diabaikan. Besarnya lenturan yang terjadi tergantung dari beberapa factor sebagai berikut:

1. Sifat kekakuan batang (*Modulus elasticity*)

2. Posisi batang terhadap beban dan dimensi batang, yang biasanya ditunjukkan dalam besaran *momen inertia* batang.
3. Besarnya beban yang diterima

### Kerja pada Struktur dengan Beban dan Tanpa Beban

Ketika sebuah struktur diberi beban, gaya bekerja pada struktur tersebut. Struktur itu bersifat elastis ketika mampu kembali ke kondisi awal apabila beban dihilangkan [4]. Kasus ini diilustrasikan dengan system sederhana pada gambar 1.

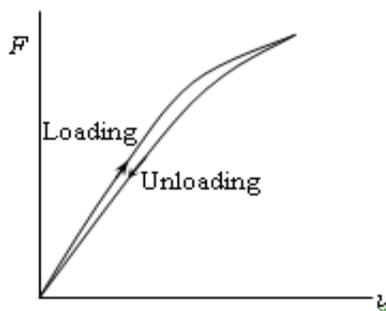


Gambar 1. Kerja pada perpanjangan spring

Pada gambar 1 ditunjukkan sebuah spring mendapat gaya tarik  $F$ . Perpanjangan  $u$  di ujung spring meningkat dengan bertambahnya  $F$ . Kerja ( $W$ ) selama pembebanan adalah:

$$W = \int_0^u F(u) du \quad (1)$$

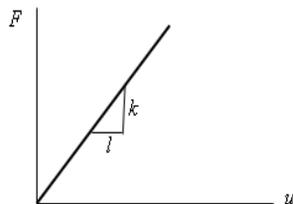
Penambahan kerja  $\partial W$  dalam penambahan perpanjangan dari  $u$  ke  $u + u \partial u$  adalah  $F(u) \partial u$ , yang ditunjukkan oleh bidang tanpa strip. Sedangkan total kerja ditunjukkan oleh area di bawah kurva *force-displacement*. Jika struktur bersifat elastis, hubungan yang sama ditunjukkan ketika struktur diberi beban (*loading*) dan ketika beban dihilangkan (*unloading*). Untuk struktur *inelastic*, kurva *unloading* terletak di bawah kurva *loading*.



Gambar 2. Hysteresis losses

Terdapat sebuah kehilangan yang berhubungan dengan area dua kurva, yang disebut *hysteresis loss* (gambar 2). Kerja yang hilang ini umumnya dilepaskan dalam bentuk panas. Jika hubungan *load-displacement* merupakan hubungan linier (gambar 3), didefinisikan sebuah *stiffness*  $k$ , sehingga:

$$F = k u \quad (2)$$



Gambar 3. Hubungan load-displacement linier

Dari persamaan (1) dan (2) diperoleh hubungan,

$$W = \int_0^u k u \, du = \frac{1}{2} k u^2 \quad (3)$$

**Strain Energy**

Ketika kerja yang bekerja pada pembebanan sebuah struktur elastis kembali (*recovery*) ketika beban ditiadakan, dikatakan bahwa energi sedang disimpan dalam perubahan struktur. Energi yang tersimpan ini disebut *strain energy*,  $U$ . Sepanjang tidak ada kehilangan energi, maka:

$$U = W \quad (4)$$

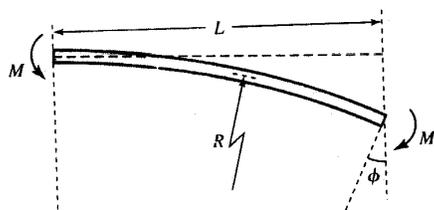
Dari persamaan (3) dan (4) diperoleh

$$U = \frac{1}{2} k u^2 \quad (5)$$

Dua bentuk alternative persamaan ini dapat dicapai menggunakan persamaan (2)

$$U = \frac{1}{2} F u \quad (6)$$

dan 
$$U = \frac{1}{2} \frac{F^2}{k} \quad (7)$$



Gambar 4. Initially straight beam in bending

Gambar 4 menunjukkan *straight beam in bending* dengan panjang  $L$ , modulus elastisitas  $E$ ,

momen inertia  $I$  dan momen  $M$ . Radius  $R$  diberikan oleh persamaan,

$$\frac{1}{R} = \frac{M}{EI} \quad (8)$$

Jika sisi kiri beam fix, sisi kanan akan berotasi melalui sudut sebesar

$$\theta = \frac{L}{R} = \frac{ML}{EI} \quad (9)$$

Momen di sisi kanan kemudian bekerja selama aplikasinya sejauh  $\theta$ , menghasilkan kerja sebesar:

$$U = W = \int_0^\theta M d\theta = \frac{EI}{L} \int_0^\theta \theta d\theta = \frac{EI\theta^2}{2L} \quad (10)$$

Ekspresi lain dapat dituliskan

$$U = \frac{1}{2} M\theta \quad (11)$$

dan 
$$U = \frac{M^2 L}{2EI} \quad (12)$$

**Hubungan Beban dan Defleksi**

Jika struktur bersifat linier (berlaku hukum *Hooke*), dan deformasi yang terjadi kecil, maka berlaku hubungan:

$$U = \frac{1}{2} F u \quad ; \quad u = \frac{2U}{F} \quad (13)$$

Metode ini dapat juga digunakan untuk masalah non linier. Jika  $u(F)$  adalah displacement karena beban  $F$ , kerja  $W$ , dan strain energi  $U$  dapat ditulis dalam hubungan  $u(F)$ , sehingga

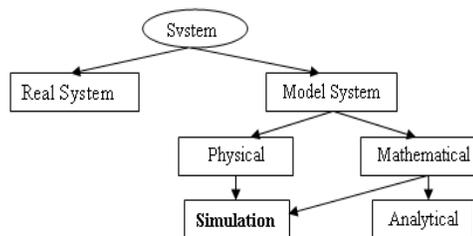
$$U = W = \int_0^F u \, dF = \frac{1}{2} F u \quad (14)$$

Didifferensialkan ke  $F$ , didapat

$$\frac{du}{dF} = \frac{1}{F} \frac{\partial U}{\partial F} \quad (15)$$

**2.2. Simulasi**

Simulasi merupakan salah satu alat untuk menganalisa system baru, meningkatkan system yang telah ada dan perubahan sebuah system.



Gambar 6. Skematik mempelajari sistem

Sebelum simulasi dilakukan, sebuah model harus ditetapkan terlebih dahulu. Sebuah model adalah sebuah representasi sebuah system atau proses yang dapat berupa model fisik atau model matematis [4].

**FEA Software**

*Finite Element Analysis Softwares* banyak digunakan dalam menganalisa masalah-masalah struktur, *fluid dynamic*, *electromagnetic*, dan lain-lain. Dalam industri banyak digunakan untuk desain dan analisis system yang kompleks. Secara garis besar, modeling dan simulasi menggunakan software ini meliputi tiga phase, yaitu:

1. *Preprocessing*

- a. *Define element type and option*  
 Berfungsi untuk memilih jenis elemen, bisa berupa link, beam, pipe, solid, shell, dan lain lain tergantung dari model yang akan disimulasikan.
- b. *Define element real constant*  
 Merupakan quantity yang spesifik untuk element yang khusus, seperti untuk beam diperlukan luas penampang lintang dan momen inerti.
- c. *Define material properties*  
 Menentukan sifat phisic element, seperti untuk beam berupa modulus elastisitas.
- d. *Create model geometry*  
 Membuat model geometri dari model phisik system yang akan disimulasikan.
- e. *Define meshing control*  
 Membagi geometri menjadi node dan elemen (*meshing*).

2. *Solution*

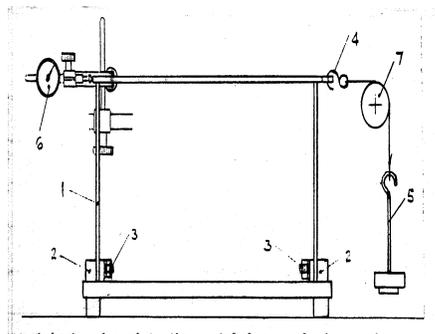
Menentukan kondisi batas, seperti aplikasi pembebanan dan jenis reaksi tumpuan dan memerintahkan program untuk memecahkan masalah.

3. *Postprocessing*

Menentukan jenis hasil simulasi yang hendak dimunculkan, seperti grafik, countour dan lain-lain.

**3. METODE PENELITIAN**

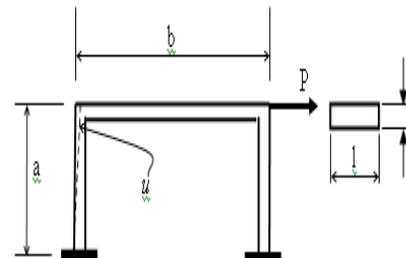
**Pelaksanaan eksperimen**



Gambar 7. Skematik alat penelitian

Keterangan gambar:

- 1. Frame
- 2. Supported
- 3. Bouncer
- 4. Knife-edge
- 5. Load hanger
- 6. Dial indikator
- 7. Pulley



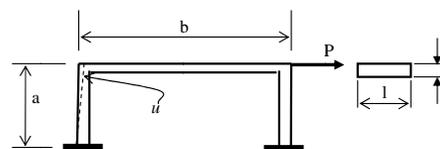
Gambar 8. Dimensi Struktur beam

Material yang dipakai adalah Baja Karbon Tinggi (ASTM 1060) dengan kandungan karbon 0,6%. Modulus elastisitasnya,  $E = 2.10^7 \text{ gr/mm}^2$ , dan kekerasan 300 BHN. Dimensi bahan adalah  $a = 300 \text{ mm}$ ,  $b = 450 \text{ mm}$ ,  $l = 15 \text{ mm}$ ,  $t = 4 \text{ mm}$ . Beban divariasikan mulai  $P = 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500$ , dan  $550 \text{ gr}$

**Simulasi**

a. Preprocessor

Dilakukan pemilihan elemen [BEAM3], dimensi elemen [ $a = 300\text{mm}$ ,  $b = 450\text{mm}$ ,  $l = 15 \text{ mm}$ ,  $t = 4 \text{ mm}$ .], modulus elastisitas [ $E = 2.10^7 \text{ gr/mm}^2$ ], momen inerti [ $I = l^3/48$ ], memodelkan perangkat penelitian secara phisik ke dalam model simulasi [seperti gambar di bawah ini], melakukan meshing.



Gambar 9. Pemodelan Beam (BEAM3)

b. Solution

Menerapkan beban [ $P = 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500$ , dan  $550 \text{ gr}$ ] Menjalankan simulasi untuk memecahkan permasalahan.

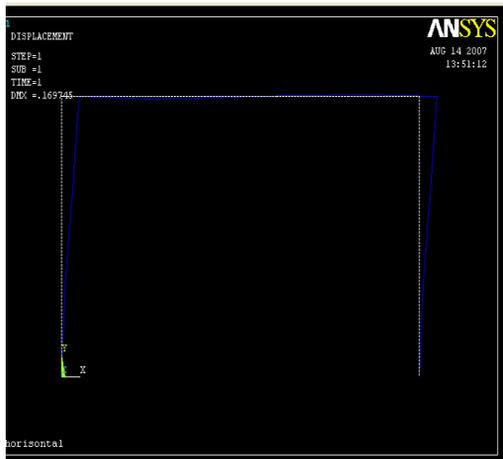
c. Post Processor

Melihat hasil simulasi bisa berupa grafik, countour, atau angka.

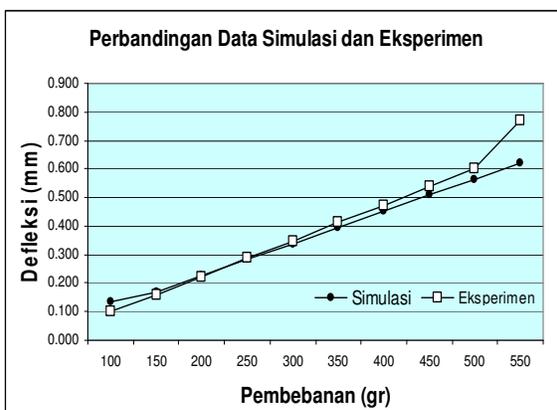
**4. Hasil dan Pembahasan**

Data hasil simulasi dan hasil eksperimen dievaluasi secara grafis dan uji statistik. Salah satu

contoh tampilan simulasi ditunjukkan pada gambar 10.



Gambar 10. Hasil simulasi dengan beban 150 gr, defleksi  $u_x = 0.133$  mm.



Gambar 11. Grafik perbandingan data simulasi dan eksperimen

Dari gambar 10 terlihat bahwa pengaruh beban terhadap defleksi memiliki trend yang proporsional, yaitu semakin tinggi beban yang diberikan semakin besar pula defleksi yang terjadi. Hal ini disebabkan dengan semakin tingginya beban berarti semakin besar pula gaya yang menarik beam, sehingga semakin besar pula deformasi yang terjadi. Hal ini ditunjukkan dengan semakin besarnya defleksi yang terjadi.

Untuk mengecek ada tidaknya perbedaan defleksi hasil simulasi dengan defleksi hasil eksperimen dilakukan uji t. Hal ini dilakukan untuk mengetahui apakah pemilihan elemen, pemodelan dan simulasi yang dijalankan sudah benar atau tidak.

Tabel 1. Data hasil eksperimen dan hasil simulasi

No	Beban (gr)	Defleksi rata-rata (mm)		Selisih rata-rata
		Eksperimen ( $u_1$ )	Simulasi ( $u_2$ )	$d_j$ ( $u_1 - u_2$ )
1	100	0.099	0.133	-0.034
2	150	0.157	0.169	-0.012
3	200	0.220	0.226	-0.006
4	250	0.287	0.283	0.004
5	300	0.347	0.339	0.008
6	350	0.415	0.396	0.019
7	400	0.472	0.452	0.020
8	450	0.540	0.509	0.031
9	500	0.603	0.565	0.038
10	550	0.768	0.622	0.146

Rata-rata beda,

$$\bar{d} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n d_j =$$

$$\frac{1}{10} \sum (-0.034) + \dots + (0.146) = 0.0214$$

Standard Deviasi perbedaan,

$$S_d = \left[ \frac{\sum_{j=1}^n (d_j - \bar{d})^2}{n-1} \right]^{1/2}$$

$$= \left[ \frac{\sum (-0.034 - (0.0214))^2 + \dots + ((0.146) - (0.0214))^2}{10-1} \right]^{1/2} = 0.064$$

t hitung diperoleh

$$t_0 = \frac{\bar{d}}{S_d / \sqrt{n}} = \frac{0.0214}{0.064 / \sqrt{10}} = 1.054$$

Dengan tingkat confidence 95%, berarti  $\alpha = 0.05$ , maka t table untuk  $t_{\alpha/2, n-1}$  atau  $t_{0.025, 9}$  adalah 2.262. Dengan demikian maka  $|1.054| < 2.262$ . Ini berarti  $H_0$  diterima, yang berarti bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara defleksi hasil eksperimen dan hasil simulasi.

Dari hasil ini dapat dikatakan bahwa simulasi yang dilakukan sudah baik, baik dari pemodelan maupun saat eksekusinya.

## 5. KESIMPULAN

1. Pembebanan dalam arah horizontal memiliki pengaruh yang signifikan terhadap besarnya defleksi yang terjadi pada beam. Semakin besar beban semakin besar pula defleksi yang terjadi.
2. Pemodelan beam dengan BEAM3, dan kondisi batas yang dipilih telah sesuai dengan hasil yang diharapkan.
3. Hasil yang diperoleh dari simulasi sama dengan hasil yang diperoleh dari eksperimen.

## DAFTAR PUSTAKA

1. A.C. Cilchrist, 1999, *Non Linier Finite Element Modelling of Corrugated Board*, AMD-Vol. 231/MD-Vol.85, Mechanics of Cellulosic Materials.
2. Ali.o. Atahan,2002, *Finite Element Simulation of a Strong-Post W-Beam Guardrail System*, *The Society for Modelling and Simulation International*, Vol 78, issued 10, October 2002 , 587-599.
3. Brian Miller,2002,*The Practical Use of Simulation in The Sheet Metal Forming Industry*, Wilde and Partner Ltd, Brindly Lodge, Adcroft Street,Stockport, Chesire,SK 1 3HS.
4. Barber,J.R, 2001, *Intermediate Mechanics of Materials*, Mc Graw Hill, New York
5. Cokorda Prapti Mahadari,2004, *Proceeding Collaboration Workshoop on Energy, Environment, and New Trend in Mechanical Engineering*, ISBN 979-8074-01-7, Brawijaya University.
6. Douglas C. Montgomery,1976, *Design and Analysis of Exsperment*, John Wiley & Son, USA.
7. Saeed, Moaveni,1999, *Finite Element Analysis, Theory and Application with Ansys*, Prentice-Hall,Inc,New Jersey,USA