

Analisa Perbandingan Biaya Penggunaan PCI-Girder dan Steel Box Girder (Studi Kasus : Jembatan Cimanuk Maktal)

NAFISAH NOOR SAKINAH, HAZAIRIN, EUNEKE WIDYANINGSIH

Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Bandung
Email : nafisahns99@gmail.com

ABSTRAK

Pembangunan jembatan dan flyover sedang banyak dicanangkan beberapa tahun terakhir, berbagai jenis material untuk membangun jembatan menjadi pertimbangan yang cukup penting agar biaya yang dikeluarkan untuk pembangunan seminimal mungkin. Maka dilakukan perbandingan biaya antara dua jenis girder untuk mencari yang lebih murah. Jenis girder yang dibandingkan dalam jurnal ini adalah PCI-girder dan steel box girder. Untuk mendapatkan perbandingan yang baik, maka dilakukan perhitungan struktur untuk mengetahui kebutuhan girder dan dimensi masing-masing jenis girder. Untuk memikul beban kerja yang sama struktur PCI-girder membutuhkan 5 buah girder dengan tinggi 2100 mm dan lebar 800 mm, sedangkan struktur steel box girder membutuhkan 2 buah girder dengan lebar 2000 mm dan tinggi 2000 mm. Setelah dilakukan perhitungan biaya didapat biaya PCI-girder sebesar Rp.1.342.129.279,58 dan biaya steel box girder sebesar Rp. 2.023.103.739,20. dari perhitungan tersebut dapat disimpulkan bahwa biaya penggunaan PCI-girder lebih murah 33,66% dibandingkan biaya steel box girder.

Kata kunci: steel box girder, PCI-girder, estimasi biaya, perancangan struktur

ABSTRACT

The construction of bridges and flyovers has been widely planned in recent years, various types of materials to build bridges are an important consideration to make the costs of the construction are as minimal as possible. So this jurnal is talking about cost comparison between the two types of girders to find the cheaper one. The types of girders compared in this journal are PCI-girders and steel box girders. To get a good comparison, a structural calculation is carried out to determine the girder requirements and dimensions of each type of girder. To carry the same working load, the PCI-girder structure requires 5 girders with a height of 210 mm and a width of 80 mm, while a steel box girder structure requires 2 girders with a width of 2000 mm and a height of 2000 mm. After calculating the costs, the PCI-girder cost is Rp.1,342,129,279.58 and the steel box girder cost is Rp. 2.023.103.739,20. From these calculations, it can be concluded that the cost of using PCI-girders is 33,66% cheaper than the cost of steel box girders.

Keywords: steel box girder, PCI-girder, cost estimation, structure design

1. PENDAHULUAN

Jembatan sebagai salah satu prasarana transportasi yang berperan sangat penting untuk beberapa masalah transportasi, seperti terpisahnya dua daerah oleh rintangan seperti sungai atau laut dan kemacetan. Jembatan memiliki banyak sekali jenis baik berdasarkan material, jenis struktur, fungsi, kelas dan masih banyak lagi. Dengan beragamnya jenis jembatan penentuan jenis struktur dan material menjadi salah satu hal penting yang harus dipertimbangkan untuk dapat menekan biaya konstruksi. Dalam jurnal ini dilakukan perbandingan biaya antara PCI-*girder* dan *Steel Box Girder* untuk mengetahui jenis *girder* mana yang lebih murah. Selain perbandingan harga juga dilakukan pemodelan struktur *steel box girder* untuk mengetahui dimensi *steel box girder* yang mampu menahan beban yang sama dengan PCI-*girder* sebagai data eksisting, sehingga selanjutnya bisa diperhitungkan keperluan biaya untuk pembangunan *steel box girder* tersebut.

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1 Perhitungan Pembebanan Jembatan

Dalam jurnal ini dilakukan perencanaan dengan metode LRFD, dalam menghitung beban terfaktor, kekuatan dan besar beban yang bekerja digunakan SNI 1725:2016 mengenai Pembebanan Jembatan sebagai acuan. Adapun beban-beban yang digunakan dalam perhitungan struktur jurnal ini adalah berat sendiri (MS), beban mati tambahan (MA), beban lajur (TD), beban truk (TT) dan beban angin (EW). Beban-beban tersebut dihitung, selanjutnya dilakukan perhitungan kombinasi pembebanan.

2.2 Pemodelan Struktur

Pemodelan struktur dapat dilakukan dengan berbagai alat bantu berupa *software* salah satunya adalah SAP2000, fungsi SAP2000 dalam pemodelan struktur adalah untuk mempermudah proses perhitungan *stress ratio* penampang yang direncanakan jika diberikan beban-beban rencana. Penampang dengan nilai *stress ratio* diantara 0 - 0,9 dinyatakan aman. Sedangkan penampang dengan *stress ratio* 0,9 - 0,95 dinyatakan berbahaya dan untuk *stress ratio* lebih besar dari 0,95 dinyatakan *overstressed*.

2.3 Penampang Komposit

Material yang digunakan untuk *girder* pada perencanaan struktur ini adalah material baja. Sedangkan material yang digunakan untuk pelat lantai adalah beton bertulang, dengan perbedaan material tersebut dapat terjadi gaya geser yang cukup besar. Maka harus dirancang *shear connector* untuk dapat menahan gaya geser yang terjadi pada kedua penampang. Berikut ini adalah langkah-langkah yang dilakukan untuk merancang *shear connector*.

1. Penentuan lebar efektif
2. Perhitungan kuat geser horizontal
3. Perhitungan kuat geser nominal *shear connector*
4. Perhitungan jumlah *shear connector*

2.4 Perhitungan Koefisien

Berikut ini adalah rumus-rumus perhitungan koefisien Alat Berat:

$$Q = \frac{V \times F_a \times 60}{TS} \quad (2.18)$$

$$Koef = \frac{1}{Q} \quad (2.19)$$

Dimana :

Q : produktivitas *mobile crane*

V : kapasitas produksi satu buah *mobile crane*

F_a: faktor efisiensi alat

T_s : waktu siklus

Berikut ini adalah rumus- rumus perhitungan koefisien tenaga kerja:

$$Q_T = T_k \times Q \quad (2.20)$$

$$\text{Koefisien Pekerja} = \frac{(T_k \times P)}{Q_t} \quad (2.21)$$

$$\text{Koefisien Tukang Batu} = \frac{(T_k \times T_b)}{Q_t} \quad (2.22)$$

$$\text{Koefisien Mandor} = \frac{(T_k \times M)}{Q_t} \quad (2.23)$$

Dimana:

Q_t : produktivitas alat berat perhari (m^3)

T_k : jam kerja perhari

P : jumlah pekerja

M : jumlah mandor

T_b : jumlah tukang batu

Sedangkan koefisien material dilakukan dengan perhitungan volume kebutuhan material tersebut.

2.5 Analisa Harga Satuan

Analisa harga satuan atau yang sering disingkat AHS adalah harga satuan dari setiap pekerjaan konstruksi. AHS merupakan cara menghitung harga satuan pekerjaan yang dijabarkan dalam perkalian antara kebutuhan bahan bangunan, koefisien upah, dan peralatan dengan harga bahan bangunan, harga standar upah, dan harga sewa/beli peralatan untuk menyelesaikan per satuan pekerjaan konstruksi. Dalam perhitungan analisa harga satuan, angka koefisien yang menunjukkan nilai satuan bahan/material, nilai satuan alat, dan nilai satuan upah pekerjaan yang dapat digunakan sebagai acuan untuk merencanakan dan mengendalikan biaya pekerjaan.

2.6 Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Rencana Anggaran Biaya (RAB) secara sederhana dapat diartikan sebagai perkiraan biaya yang akan dikeluarkan untuk melaksanakan kegiatan tertentu terutama dalam proyek. Tahap perhitungan RAB dilakukan setelah melakukan penyusunan AHS, dalam RAB dilakukan perkalian antara AHS dengan volume pekerjaan. Total biaya merupakan jumlah dari pengalihan volume dan AHS tiap-tiap pekerjaan ditambah dengan pajak dan keuntungan . Maka didapat harga total proyek tersebut.

3. METODOLOGI

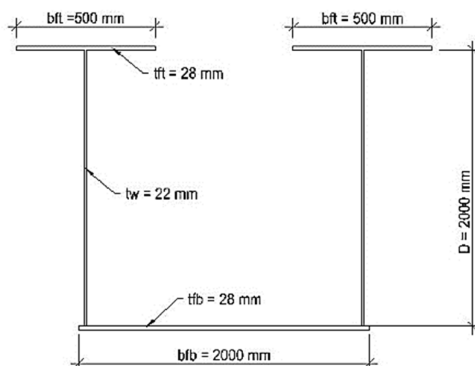
Dalam proses penyusunan jurnal tugas akhir ini dilakukan beberapa tahap sebagai berikut:

1. *Preliminary design steel box girder*
2. Perhitungan pembebanan jembatan
3. Pemodelan *steel box girder* dan perhitungan komponen struktur lainnya
4. Perhitungan biaya PCI-girder dan *steel box girder*
5. Perbandingan biaya PCI-*girder* dan *steel box girder*

4. ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Perencanaan Struktur *Steel Box Girder*

Direncanakan penampang *steel box girder* dengan kuat leleh 250 Mpa dan kuat tarik 410 Mpa, sedangkan dimensi *steel box girder* dapat dilihat pada **Gambar 1**:



Gambar 1. Rencana Dimensi *steel box girder* (Sumber : Data Pribadi)

Selanjutnya dilakukan perhitungan pembebanan sesuai dengan SNI 1725:2016, dan didapatkan beban sebagai berikut ditampilkan pada **Tabel 1.**

Tabel 1. Pembebanan pada *Steel Box Girder* (Sumber : Data Pribadi)

Jenis Beban	Besar beban [kN/m]	Jenis /Arah beban
MA	15,273 kN/m	Sepanjang bentang/ gravitasi
BTR	15,618 kN/m	Sepanjang bentang/ gravitasi
BGT	137,2 kN/m	Pada jarak 20,4 m/ gravitasi
TT roda depan	50 kN	<i>Live load</i>
TT roda belakang	225 kN	<i>Live load</i>
TB	4,963 kNm/m	Moment / arah X
EW	4,4 kN/m	Sepanjang bentang/ arah Y

Untuk mengetahui kemampuan dimensi memikul beban-beban yang bekerja, dilakukan pemodelan pada SAP2000, *steel box girder* dimodelkan secara sederhana menggunakan fitur pemodelan *beam*. Setelah menginputkan jenis material penampang, dimensi penampang, beban-beban yang bekerja kepada penampang dan melakukan *running* didapat penampang yang direncanakan diatas memiliki *stress ratio* 0,895 yang artinya cukup aman untuk menahan beban yang bekerja padanya. Maka perencanaan bisa dilanjutkan dengan penampang yang direncanakan pada **Gambar 1** . Selanjutnya dilakukan perencanaan jarak antar *girder*, dalam AASHTO LRFD *Bridge Design Spesification* 2012 disebutkan bahwa jarak antar dua *web* yang berdekatan tidak boleh lebih dari 1,2 kali lebar *girder* dan tidak boleh kurang dari 0,8 kali lebar *girder*. Maka direncanakan jarak *girder* sebesar 2,4 meter, dengan jumlah *girder* sebanyak 2 buah.

Selanjutnya direncanakan stud berdiameter 22 mm dan tinggi 100 mm. Berikut ini dijabarkan beberapa langkah perencanaan *shear connector* :

1. Penentuan lebar efektif

- $2 \times \frac{1}{8} \times L = 2 \times \frac{1}{8} \times 40800 = 10200 \text{ mm}$
- $a = 2400 \text{ mm}$ (Kontrol)
- $\frac{1}{8} \times L = \frac{1}{8} \times 40800 = 5100 \text{ mm}$
- $\text{overhang} + \left(\frac{1}{2} \times a\right) = \text{overhang} + \left(\frac{1}{2} \times a\right) = 1300 + \left(\frac{1}{2} \times 2400\right) = 2500 \text{ mm}$

2. Perhitungan kuat geser horizontal

- $V_h = 0,85 \times f'_c \times b_{\text{eff}} \times t_s = 12699000 \text{ N}$ (Kontrol)
- $V_h = f_y \times A_s = 20375000 \text{ N}$

3. Perhitungan kuat geser nominal *shear connector*

$$Q_n = 0,5 A_{sc} \sqrt{f'_c E_c} \leq R_g R_p A_{sc} f_u$$

$$= 145172,2012 \text{ N (Kontrol)} \leq 159574,8 \text{ N}$$

4. Perhitungan jumlah *shear connector*

$$\frac{V_h}{Q_n} = 87,475 \text{ buah} \approx 88 \text{ buah}$$

Didapatkan jumlah kebutuhan *shear connector* sebanyak 88 buah untuk daerah bermomen nol hingga momen maksimum, yang artinya adalah untuk setengah bentang, maka untuk satu buah *girder* dibutuhkan 352 buah, dengan jarak antar *shear connector* sebesar 230 mm, jarak tersebut sudah dilakukan pengecekan terhadap syarat-syarat yang dicantumkan pada bagian 2.4, dan memenuhi persyaratan.

4.2 Perhitungan Biaya PCI-*girder*

Dalam Proyek Pembangunan Jembatan Cimanuk Maktal digunakan 5 buah PCI-*girder* dengan tinggi 2,1 m, lebar 0,8 m dengan jarak antar *girder* sebesar 1,85 m. *Girder* diterima dalam keadaan sudah dilakukan *stressing*, maka dalam perhitungan biaya PCI-*girder* sub pekerjaan yang diperhitungkan adalah pekerjaan *grouting* dan *erection girder*. AHS dibuat dengan satuan satu buah girder baik untuk pekerjaan PCI-*girder* maupun *steel box girder*. Hasil perhitungan AHS pekerjaan *grouting* dapat dilihat pada **Tabel 2**, dan untuk AHS pekerjaan *erection girder* dapat dilihat pada **Tabel 3**. Dari kedua AHS tersebut selanjutnya dilakukan rekapitulasi dengan membuat RAB, pada RAB didapat biaya penggunaan PCI *girder* adalah sebesar Rp.1.342.129.279,58. RAB pekerjaan PCI-*girder* dapat dilihat pada **Tabel 4**.

Tabel 2. AHS Grouting PCI-*girder* (Sumber : Data Pribadi)

Grouting PCI- Girder						
No	Uraian	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)		Jumlah Harga (Rp)
A Tenaga Kerja						
1	Pekerja	OH	1,111	Rp	105.000,00	Rp 116.666,67
2	Mandor	OH	0,278	Rp	159.000,00	Rp 44.166,67
Jumlah Harga Tenaga Kerja					Rp	160.833,33
B Bahan						
1	Semen	zak	30	Rp	87.000,00	Rp 2.581.477,46
2	Air	liter	2	Rp	15,00	Rp 30,00
3	SikaTop	liter	30	Rp	60.000,00	Rp 1.780.329,28
4	Intraplazt Z	kg	22	Rp	66.000,00	Rp 1.468.771,66
Jumlah Harga Bahan					Rp	5.830.608,40
C Peralatan						
1	Alat Grouting	jam	0,7849776	Rp	632.983	Rp 496.877,50
Jumlah Harga Peralatan					Rp	496.877,50
Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan					Rp	6.488.319,23
Harga Satuan Pekerjaan pe-buah					Rp	6.488.319,23

Tabel 3. AHS Erection PCI-*girder* (Sumber : Data Pribadi)

Erection PCI- Girder						
No	Uraian	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)		Jumlah Harga (Rp)
A Tenaga Kerja						
1	Pekerja	OH	3,133	Rp	105.000,00	Rp 328.915,66
2	Operator	OH	1,566	Rp	189.000,00	Rp 296.024,10
3	Mandor	OH	0,783	Rp	159.000,00	Rp 124.518,07
4	Pembantu Operator	OH	1,566	Rp	134.000,00	Rp 209.879,52
Jumlah Harga Tenaga Kerja					Rp	749.457,83
B Bahan						
1	PCI- Girder H=2,1 m, L=40,8 m K-500 termasuk <i>stressing</i> dan mobilisasi	bh	1	Rp	234.624.800,00	Rp 234.624.800,00
Jumlah Harga Bahan					Rp	234.624.800,00
C Peralatan						
1	Mobile Crane 60 T	jam	1,566	Rp	1.375.000,00	Rp 2.153.614,46
Jumlah Harga Peralatan					Rp	2.153.614,46
Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan					Rp	237.527.872,29
Harga Satuan Pekerjaan pe-buah					Rp	237.527.872,29

Tabel 4. RAB PCI-*girder* (Sumber : Data Pribadi)

NO	URAIAN PEKERJAAN	SATUAN	VOLUME	HARGA SATUAN	JUMLAH
1	Pekerjaan PCI-Girder				
	Pekerjaan Erection Girder	bh	5	Rp 237.527.872,29	Rp 1.187.639.361,45
	Pekerjaan Grouting	bh	5	Rp 6.488.319,23	Rp 32.441.596,16
	JUMLAH NOMINAL			Rp	1.220.080.957,60
	PPN 10 %			Rp	122.008.095,76
	TOTAL			Rp	1.342.089.053,36

4.3 Perhitungan Biaya *Steel Box Girder*

Dari perhitungan dan pemodelan struktur pada sub bab 4.1 didapat dimensi *steel box girder* yang direncanakan memiliki lebar 2 m dan tinggi 2 m, jumlah *girder* sebanyak 2 buah dan jarak antar *web* terdekat adalah 2,4 m. Perhitungan biaya dilakukan untuk 2 sub pekerjaan yakni pekerjaan perakitan *girder* dan *erection girder*. Dilakukan proses perhitungan koefisien dan penyusunan AHS tiap pekerjaan yang disusun dengan satuan satu buah *girder*. AHS pekerjaan perakitan *steel box girder* dapat dilihat pada **Tabel 5**, dan AHS pekerjaan *erection girder* dapat dilihat pada **Tabel 6**. Setelah didapatkan nilai harga satuan pekerjaan dilanjutkan pembuatan RAB *steel box girder* didapat dari RAB tersebut biaya penggunaan *steel box girder* sebesar Rp. 2.023.103.739,20. RAB *steel box girder* dapat dilihat pada **Tabel 7**.

Tabel 5. AHS Perakitan *Steel Box Girder* (Sumber : Data Pribadi)

Perakitan <i>Steel Box Girder</i>					
Uraian	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)		Jumlah Harga (Rp)
Tenaga Kerja					
Pekerja	OH	8	Rp	105.000,00	Rp 840.000,00
Tukang Besi Profil / Tukang Las	OH	6,02	Rp	149.000,00	Rp 896.980,00
Kepala Tukang	OH	2	Rp	164.000,00	Rp 328.000,00
Mandor	OH	0,5	Rp	159.000,00	Rp 79.500,00
Jumlah Harga Tenaga Kerja				Rp	2.144.480,00
Bahan					
Plat Baja Struktur (t > 10 mm)	kg	55088	Rp	15.000,00	Rp 826.322.400,00
Kawat las (E7018)	kg	1306	Rp	62.300,00	Rp 81.338.880,00
<i>Stud shear connector</i> (d = 22 mm H = 100 mm)	bh	352	Rp	5.000,00	Rp 1.760.000,00
Jumlah Harga Bahan				Rp	909.421.280,00
Peralatan					
Alat Perakitan dan Las	jam	15,111	Rp	407.000,00	Rp 6.150.222,22
Jumlah Harga Peralatan				Rp	6.150.222,22
Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan				Rp	917.715.982,22
Harga Satuan Pekerjaan pe-buah				Rp	917.715.982,22

Tabel 6. AHS *Erection Steel Box Girder* (Sumber : Data Pribadi)

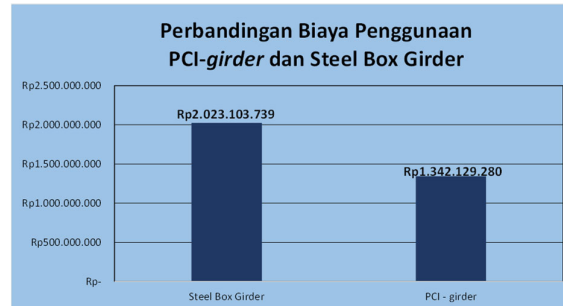
Erection Steel Box Girder						
No	Uraian	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)		Jumlah Harga (Rp)
A Tenaga Kerja						
1	Pekerja	OH	2,651	Rp	105.000,00	Rp 278.313,25
2	Operator	OH	1,325	Rp	189.000,00	Rp 250.481,93
3	Mandor	OH	0,663	Rp	159.000,00	Rp 105.361,45
4	Pembantu Operator	OH	1,325	Rp	134.000,00	Rp 177.590,36
					Jumlah Harga Tenaga Kerja	Rp 634.156,63
B Bahan						
						Rp -
C Peralatan						
1	Mobile Crane 30 T	jam	1,325	Rp	937.500,00	Rp 1.242.469,88
					Jumlah Harga Peralatan	Rp 1.242.469,88
					Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan	Rp 1.876.626,51
					Harga Satuan Pekerjaan pe-buah	Rp 1.876.626,51

Tabel 7. RAB *Steel Box Girder* (Sumber : Data Pribadi)

NO	URAIAN PEKERJAAN	SATUAN	VOLUME	HARGA SATUAN	JUMLAH
1	Pekerjaan Steel Box Girder				
	Pekerjaan Erection Girder	bh	2	Rp 1.876.626,51	Rp 3.753.253,01
	Pekerjaan Perakitan Steel Box Girder	bh	2	Rp 917.715.982,22	Rp 1.835.431.964,44
	TOTAL HARGA				Rp 1.839.185.217,46
	PPN 10 %				Rp 183.918.521,75
	TOTAL				Rp 2.023.2013.739,20

4.4 Perbandingan harga steel box girder dan PCI-girder

Perbandingan biaya penggunaan PCI-girder dan Steel Box Girder disajikan dalam diagram batang yang dapat dilihat pada **Gambar 2**, didapatkan harga PCI-girder lebih murah sebesar 33,66 % dari steel box girder .



Gambar 2. Perbandingan Biaya PCI-girder dan Steel Box Girder (Sumber : Data Pribadi)

5. KESIMPULAN

Dari jurnal ini dapat disimpulkan bahwa struktur *steel box girder* yang direncanakan dengan lebar 2 meter, tinggi 2 meter, tebal pelat *flange* sebesar 28 mm dan tebal pelat *web* sebesar 22 mm mampu menahan beban dengan *stress ratio* 0,895. Sedangkan untuk aksi komposit antara *steel box girder* dengan pelat beton bertulang di atasnya dirancang *shear connector* jenis *stud* diameter 22 mm dan tinggi 100 mm berjumlah 352 buah untuk 1 bentang jembatan. Selanjutnya kesimpulan untuk segi biaya, biaya *steel box girder* dengan 2 buah girder adalah sebesar Rp. 2.023.103.739,20. sedangkan PCI-girder dengan 5 buah girder memerlukan biaya Rp.1.342.129.280,00. Maka dapat disimpulkan bahwa penggunaan biaya PCI-girder lebih murah dari biaya *steel box girder* dengan selisih Rp 680.974.460,00.

DAFTAR RUJUKAN

- AASHTO. "AASHTO LRFD Bridge Design Specifications", (2012). American Association of State Highway and Transportation Officials : Washington, D.C.,
- Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) pada Lampiran Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor:28/PRT/M/2016.
- Jurnal Harga Satuan Bahan Bangunan Konstruksi dan Interior Edisi 39 2020. Jakarta. Anggara Inter Design.
- Setiawan, Agus . (2013). *Perencanaan Struktur Baja dengan Metoder LRFD Edisi Kedua*. Erlangga: Jakarta.
- SNI 1725 : 2016 tentang Pembebanan Jembatan
- SNI 1729 : 2015 tentang Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural
- Sumaidi, Made D Astawa dan B Erki S. (*tidak ada keterangan tahun*). Perencanaan Jembatan Steel Box Girder Komposit Dua Material Baha Beton dengan Dua Gelagar Seragam, Teknik Sipil Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur: Surabaya