

A METHOD FOR IMPROVING THE CAPACITY OF BRIDGE GIRDER AT INTERSECTION BY MAINTAINING THE HEIGHT CLEARANCE

USAHA PENINGKATAN KAPASITAS GELAGAR JEMBATAN JALAN PERSILANGAN TIDAK SEBIDANG TANPA MENGURANGI TINGGI RUANG BEBAS

Bambang Supriyadi ¹⁾

¹⁾Staf Pengajar Jurusan T. Sipil dan Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Jl. Grafika no. 2 Yogyakarta.

ABSTRACT

RAPid development of transportation must be in line with the enhancement of infrastructures capacity including the bridge capacity and serviceability. The capacity and serviceability of the bridge can be done by enhancing the main girder. The current method to improve the girder capacity is to increase the moment of inertia of the cross section by mean increasing the height. However, this method will reduce the height clearance under the bridge. This disadvantage can be resolved by modification of the girder section. This paper presents a method to improve the capacity of girder by modification the cross section. Two plate girder section, named double delta model, was used in this research to increase the girder capacity to support the applied load and moment capacity without increasing the height of the girder. The model was modified cross section of the I-beam. The research results showed that the modified plate girder can applied to improve the girder capacity and maintenance the height clearance. The double delta model with size ratio of the web and flange 4.6 and 5.29 was able to support load about 2.65 of the I-beam section. In addition, the maximum moment can be increased to 2.21 and 2.5 respectively. The model needs additional steel plate about 1.48 to 1.52 of the original girder.

Key Words: transportation infrastructure, bridge, girder, height clearance, double delta section

ABSTRAK

Perkembangan sarana transportasi menuntut peningkatan kemampuan prasarana transportasinya. Salah satu prasarana transportasi yang dituntut untuk mengimbangi kebutuhan sarana transportasi tersebut diantaranya jembatan. Peningkatan kemampuan jembatan memerlukan peningkatan kapasitas gelagar utamanya. Secara umum, peningkatan kapasitas gelagar utama memerlukan peningkatan momen inersia yang umumnya dilakukan dengan penambahan tinggi gelagar. Pada jembatan yang menghubungkan jalan persilangan tidak sebidang hal ini menyebabkan pengurangan tinggi ruang bebasnya. Dalam penelitian ini diteliti dua macam model gelagar pelat penampang double delta (modifikasi dari penampang I) untuk mengetahui besar peningkatan kemampuan menahan beban maksimum dan kapasitas momennya tanpa menambah tinggi gelagar. Hasil penelitian menunjukkan gelagar pelat baja dengan model double delta dapat dipilih sebagai gelagar jembatan jalan persilangan tidak sebidang yang memerlukan peningkatan kapasitasnya tanpa mengurangi tinggi ruang bebas jalan dibawahnya, karena dari hasil uji eksperimental dua model gelagar pelat baja penampang double delta dengan rasio tinggi pelat badan dan lebar pelat sayap 4,6 dan 5,29, keduanya menunjukkan peningkatan kemampuan menahan beban 2,65 kali dan peningkatan momen maksimum berturut turut 2,21 dan 2,5 kali dari tampang profil I aslinya, meskipun membutuhkan tambahan bahan pelat baja dengan volume berkisar 1,48-1,52 kalinya.

Kata-kata Kunci: Prasarana transportasi, jembatan, gelagar, tinggi ruang bebas, penampang double delta

PENDAHULUAN

Perkembangan sarana transportasi di Indonesia dewasa ini maju sangat pesat. Sebagai konsekuensinya, prasarana transportasi dituntut mampu mengimbangi perkembangan tersebut. Salah satu prasarana transportasi yang akan dibahas dalam tulisan ini adalah jembatan. Pada mulanya banyak jembatan dibangun untuk menghubungkan jalan raya maupun jalan rel yang terputus karena sungai atau lembah. Namun saat ini banyak jembatan dibangun tidak hanya melintasi sungai, tetapi juga melintasi jalan lain, atau yang sering disebut sebagai persilangan jalan tidak sebidang. Sebagai konsekuensi dari persilangan jalan tidak sebidang, dibutuhkan tinggi bebas antara permukaan jalan yang di bawah dengan permukaan terbawah dari bagian jembatan jalan yang di atas. Persyaratan minimal tinggi bebas yang diatur dalam Peraturan Jalan Raya harus dipenuhi agar sarana transportasi yang melalui jalan yang dibawah dapat melintas dengan lancar dan aman. Peninggian ruang bebas terkadang membawa dampak menambah tingginya permukaan jembatan yang berada pada posisi lebih tinggi atau bahkan jauh lebih tinggi dari permukaan jalan atas yang dihubungkan, yang sering menyebabkan jarak pandang terganggu dan berbahaya bagi sarana transportasi yang melintasi-

nya. Padahal timbunan bagian "oprit" atau peninggian antara muka jalan dan muka jembatan terkadang menimbulkan problem tersendiri terhadap fondasi jembatannya. Selain itu, berkurangnya tinggi bebas sering terjadi karena jalan yang bawah di-*overlay* dengan ketebalan tertentu dan dilakukan tiap tahun oleh bagian pemeliharaan jalan. Hal ini sudah banyak contohnya, dimana tahun sebelumnya sebuah bus yang sama dapat melalui jalan yang bawah tanpa terhalang bagian bawah struktur jembatan, tetapi setelah di-*overlay*, pada tahun berikutnya tidak bisa lagi melewati bawah jembatan akibat *overlay* dengan ketebalan yang cukup signifikan.

Di lain pihak, dengan perkembangan volume lalu lintas yang bertambah besar, diperlukan gelagar jembatan yang mampu menahan beban lalu lintas yang bertambah besar. Untuk memenuhi hal ini, secara umum dipilih dimensi gelagar yang lebih tinggi agar memiliki momen inersia gelagar yang bertambah besar. Konsekuensinya, apabila menambah tinggi gelagar akan mempengaruhi oprit di satu sisi atau mengurangi tinggi bebas di sisi lain.

Gelagar pelat merupakan elemen struktur yang dominan memikul momen lentur. Kapasitas lentur balok maupun gelagar pelat sangat dipengaruhi oleh momen inersia tampangannya, dan

makin besar momen inersia tampangnya makin besar kapasitas lenturnya. Usaha untuk peningkatan kapasitas lentur gelagar pelat kebanyakan penelitian sebelumnya dilakukan dengan merubah bentuk profil I menjadi balok Castella. Dari profil I ukuran tinggi tertentu dibelah dengan cara zig-zag sepanjang balok dan disusun/disatukan kembali dengan las akan menjadikan balok Castella berukuran lebih tinggi dari ukuran tinggi aslinya, tetapi balok menjadi berlubang, yang dapat terjadi konsentrasi tegangan di sekitarnya, dan ukuran panjang terpakai juga berkurang. Selain itu, model ini akan mengurangi tinggi ruang bebas di bawahnya apabila tidak menginginkan perbedaan tinggi permukaan jembatan lebih tinggi dari permukaan jalan. Oleh karena itu diteliti profil *double delta* yang dapat meningkatkan kapasitas lenturnya tanpa menambah tinggi profil dan tidak mengurangi tinggi ruang bebas di bawahnya. Profil *double delta* merupakan modifikasi gelagar pelat penampang I dengan menambahkan pelat penopang, yang menyatukan antara pelat badan dengan sisi pelat sayapnya. Secara teoritis, penambahan pelat penopang dapat meningkatkan momen inersia sumbu kuat (I_x) dan momen inersia sumbu lemah (I_y), meskipun disisi lain, penambahan pelat-pelat penopang mengakibatkan kebutuhan material dan biaya pembuatan meningkat.

Untuk mengatasi permasalahan di atas, dalam makalah ini disampaikan hasil penelitian eksperimen dua model gelagar pelat baja *double delta* untuk mengetahui pengaruh rasio tinggi dan lebar gelagar terhadap kapasitas momen dan kemampuan dalam menahan beban yang bekerja, agar didapat tinggi gelagar jembatan yang mampu menahan beban lalu lintas yang bertambah besar tetapi tidak mengurangi tinggi ruang bebas jalan persilangan tidak sebidang.

TINJAUAN PUSTAKA

Supriyadi, B., dan Pitoyo (2009) menunjukkan terjadinya peningkatan kapasitas lentur gelagar pelat *double delta* sebesar 2,5 kali, peningkatan kekakuan sebesar 1,22 kali dan terjadi peningkatan tegangan kritis sebesar 1,15 kali terhadap gelagar pelat I yang dimensi tinggi dan lebar profilnya sama. Rasio penambahan volume bahan lebih kecil dari peningkatan rasio momen batas, sehingga pelat *double delta* layak untuk dipertimbangkan dalam perencanaan pembangunan dengan bahan struktur baja.

Taly, N., (1998), untuk peningkatan rasio lebar dan tebal sayap dapat dilakukan dengan memberikan pelat-pelat penyokong yang dipasang miring menghubungkan pelat sayap dan pelat badan sehingga menyerupai bentuk huruf delta.

Menurut Hoglund yang dikutip Shan (1996) balok IWF tipis yang memiliki lubang bulat atau segi empat pada badannya dan menerima lentur murni sebagian besar tegangannya didistribusikan pada sayap tekan dan tarik, sedangkan badannya hanya berperan sebagai lengan gaya sayap tarik dan tekan, oleh karena itu lubang pada badan balok sampai batas tertentu tidak akan mengurangi kapasitas dukung balok IWF terhadap kuat lenturnya. Hasil penelitian Walid Zaarour and Richard Redwood (1996) dengan membandingkan metode analisis beda hingga dan eksperimen dengan perlakuan beban sampai plastis diperoleh hasil dari dua belas balok Castella ternyata sepuluh balok mengalami tekuk lateral dan lateral bending pada badan serta sewaktu mendekati beban ultimit terjadi perubahan defleksi secara cepat pada badan. Hasil penelitian eksperimen Apriyatno (2000) menunjukkan bahwa kapasitas lentur balok Castella naik mencapai 200%.

Salmon and Johnson, (1996), menjelaskan bahwa kapasitas lentur gelagar pelat dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu rasio tinggi badan terhadap tebal pelat badan (h/t_w), rasio lebar sayap terhadap tebal pelat sayap (b/t_f), rasio luas pelat badan terhadap luas pelat sayap (A_w/A_f), dan rasio panjang bentang terhadap jari-jari inersia minimum (L_r/R_y). Demikian juga bahwa tegangan kritis pelat dipengaruhi oleh nilai koefisien tekuk (k),

modulus e-lastis bahan (E), dan rasio tinggi terhadap tebal pelat badan. Nilai koefisien tekuk (k) berbanding lurus dengan modulus elastis bahan (E), dan berbanding terbalik dengan kuadrat rasio lebar terhadap pelat sayap (b/t_f), sehingga semakin lebar pelat sayapnya maka akan semakin kecil nilai tegangan kritisnya begitu pula sebaliknya.

Menurut Blodgett (1982) memperbesar momen inersia tanpa harus mencari ukuran profil I yang lebih besar dapat dilakukan dengan membuat balok Castella, dengan cara membelah profil IWF secara zig-zag sepanjang sumbu balok, yang selanjutnya kedua belahan profil ini disusun kembali dengan cara dilas, profil menjadi lebih tinggi tetapi memiliki lubang-lubang berbentuk segi enam pada badannya.

Secara teoritis dalam Supriyadi B., dan Pitoyo, 2009, ditunjukkan rasio nilai peningkatan momen inersia pada penampang *double delta* terhadap penampang I, sebagai berikut :

$$\frac{I_{dx}}{I_{Ix}} = 1 + \left(\frac{\frac{1}{4} t_w (b)^3 + 4(t_w)(b)(d/2 - h/2)^2}{1/12 t_w (d)^3 + 1/2 (b t_f)(d + t_f)^2} \right) \quad (1)$$

$$\frac{I_{dy}}{I_{Iy}} = 1 + \left(\frac{\frac{1}{3} t_w (b)^3}{1/12 (d) t_w + 1/6 t_f b^3} \right) \quad (2)$$

Untuk gelagar *double delta* bila sayap gelagar ditumpu menerus pada kedua sisinya, maka dapat digunakan nilai $k = 1,4$. Berdasarkan tekuk lokal, momen kritis penampang *double delta* dapat dihitung dengan:

$$M_{cr} = b t_f (d) (\sigma_{crf}) + (h_1 t_w) \sigma_{crw} (d - h_1) + \frac{1}{4} t_w (h_2)^2 \sigma_{crw} + 2 (b t_w) (d - h_1) \sigma_{crw} \quad (3)$$

Sedangkan berdasar tekuk lateral, momen kritisnya:

$$M_{cr} = \frac{\pi}{L} \sqrt{\left(\frac{\pi E}{L} \right)^2 C_w I_y + E I_y G J} \quad (4)$$

dengan nilai J penampang *double delta* dihitung dengan persamaan:

$$(5)$$

Berdasarkan tinjauan pustaka dan landasan teori di atas, dari dua model penampang *double delta* dengan rasio tinggi badan dan lebar sayap 4,6 dan 5,29 serta $t_f = 1,5 t_w$, dapat dihitung secara teoritis rasio momen inersia dan momen batas tekuk lokal maupun puntir penampang *double delta* dan penampang I, seperti yang dapat dilihat pada Tabel 1 di bawah ini.

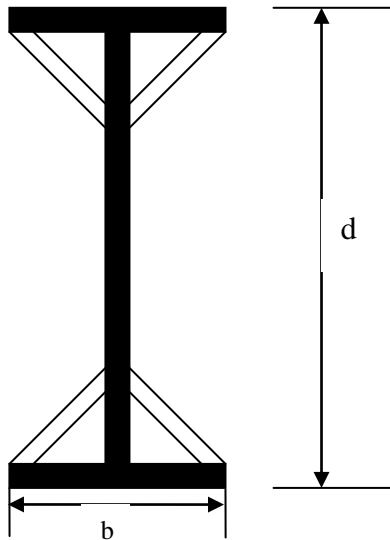
Tabel 1. Rasio momen inersia dan momen batas tekuk lokal maupun puntir penampang *double delta* dan penampang I.

Rasio momen Inersia dan momen batas	Rasio tinggi badan dan lebar sayap 4,6	Rasio tinggi badan dan lebar sayap 5,29
$\frac{I_{Dx}}{I_{Ix}}$	1,58	1,69
$\frac{I_{Dy}}{I_{Iy}}$	2,33	2,33
$\frac{M_{crd,tekuk-lokal}}{M_{cri}}$	1,83	2,18
$\frac{M_{crd,tekuk-puntir}}{M_{cri}}$	1,63	1,63

Sumber: Hasil perhitungan

PELAKSANAAN PENELITIAN

Penelitian dua model gelagar pelat *double delta* dilaksanakan uji eksperimental di Laboratorium Struktur JTSL. Sebagai bahan penelitian, dibuat 8 benda uji, dengan 4 benda uji (2 penampang I dan 2 penampang *double delta*) memiliki rasio perbandingan tinggi badan dan lebar sayap 4,6 dan 4 benda uji lainnya memiliki rasio 5,29. Dimensi pelat untuk yang rasio 4,6 memiliki pelat sayap lebar 75 mm dan tebal 3 mm, pelat badan tinggi 350 mm dan tebal 2 mm sedangkan yang memiliki rasio 5,29 memiliki pelat sayap lebar 85 mm dan tebal 3 mm, pelat badan tinggi 450 mm dan tebal 2 mm.



Gambar 1. Model gelagar penampang *Double Delta*

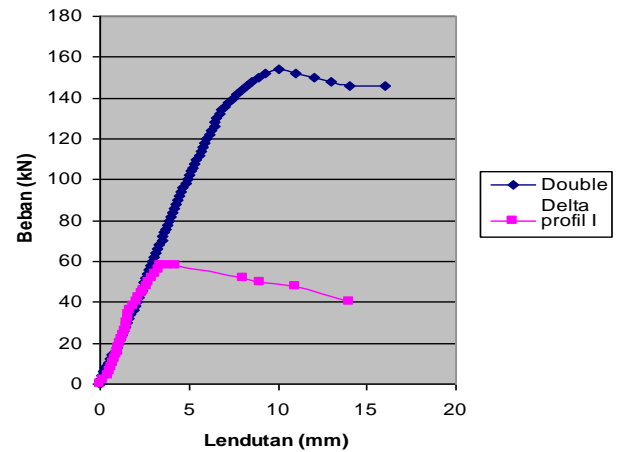
Adapun *set up* peralatan pengujian dan pelaksanaannya dilakukan dengan tahap seperti yang ditulis Supriyadi B. dan Pitoyo dalam makalah sebelumnya; yakni beban transversal diberikan pada gelagar melalui *hydraulic jack*, dengan kapasitas beban sebesar 250 kN. Dari pembebanan awal 2 kN, dan setiap kenaikan 2 kN beban, lendutan yang terjadi di masing-masing LV-DT (dial 1,2 dan 3) dicatat oleh *Data Logger*. Kemudian prosedur di atas diulangi hingga gelagar rusak, baik dilakukan untuk benda uji penampang I maupun benda uji penampang *double delta* yang memiliki rasio tinggi dan lebar pelat 4,6 dan 5,29.

HASIL DAN PEMBAHASAN

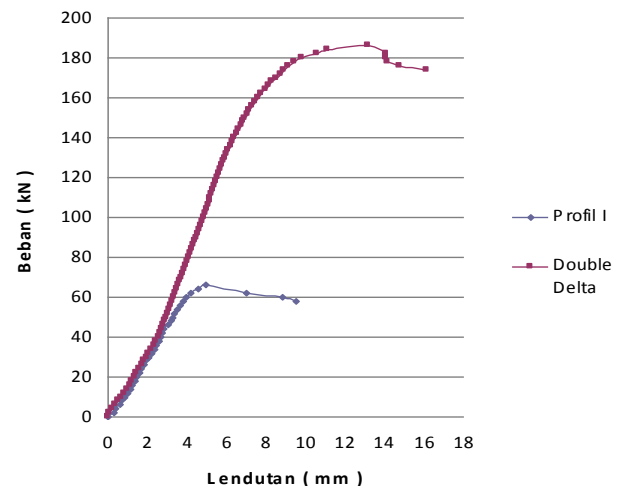
Mutu baja benda uji yang digunakan, sebelumnya dilakukan uji tarik. Dari hasil pengujian kuat tarik baja, diperoleh mutu baja benda uji tebal 2 mm dan 3 mm adalah $F_y=230$ MPa, sedang $F_u=350$ MPa untuk tebal pelat 2 mm, dan $F_u=300$ MPa untuk tebal pelat 3 mm. Hasil dari model benda uji dengan rasio 4,6 dan 5,29 diperoleh gambar hubungan beban dan lendutan (Gambar 2).

Hasil pengujian dari Gambar 2. untuk rasio tinggi pelat badan dan lebar pelat sayap 4,6 menunjukkan bahwa gelagar pelat *double delta* lebih besar menerima beban dibandingkan dengan pelat I dimensi yang sama, yaitu 154 kN untuk gelagar pelat *double delta* dan 58 kN untuk gelagar pelat I. Hal ini menunjukkan bahwa dengan memodifikasi gelagar pelat I menjadi pelat *double delta* dapat meningkatkan kekuatan pelat terhadap beban hingga 2,65 kali. Sedang dari Gambar 3. menunjukkan bahwa untuk rasio 5,29 gelagar pelat *double delta* (seperti yang pernah ditunjukkan oleh Supriyadi B dalam makalah sebelumnya) lebih besar menerima beban dibandingkan dengan pelat I, yaitu 186 kN untuk gelagar pelat *double delta* dan 70 kN untuk gelagar pelat I. Hal ini menunjukkan bahwa dengan memodifikasi gelagar pelat I menjadi

pelat *double delta* dapat meningkatkan kekuatan pelat terhadap beban hingga 2,66 kali.



Gambar 2. Lendutan gelagar pelat I dan *double delta* rasio 4,6



Gambar 3. Lendutan gelagar pelat I dan *double delta* rasio 5,29

Bila dibandingkan kedua model diatas tampak bahwa meskipun peningkatan kemampuan menerima beban hampir sama, 2,65 kali, tetapi beban nominal yang mampu ditahan oleh gelagar pelat penampang *double delta* dengan rasio yang lebih besar mampu menerima beban lebih besar yakni 186 kN dibanding 154 kN.

Berdasar posisi beban yang diteRAPkan dalam uji eksperimen (seperti yang pernah digambarkan oleh Supriyadi B dalam tulisan sebelumnya) momen maksimum atau momen kritis dapat dihitung dengan rumus $M_{cr} = \frac{1}{6}PL$, dengan nilai P beban maksimum yang diperoleh dari uji eksperimental. Dari hasil uji beban maksimum diatas, untuk rasio tinggi dan lebar pelat 4,6, diperoleh nilai $M_{cr} = 19333,3$ kNm pada profil I dan $M_{cr} = 42666,6$ kNm, yang berarti peningkatan nilai momen kritis sebesar 2,21 kali, yang lebih besar dari hitungan teoritis 1,9 kali. Sedangkan untuk rasio 5,29 diperoleh nilai $M_{cr} = 22333,3$ kNm pada profil I dan $M_{cr} = 56000$ kNm, yang berarti peningkatan nilai momen kritis sebesar 2,5 kali, yang lebih besar dari hitungan teoritis 2,18 kali.

Dari hasil diatas tampak bahwa penampang *double delta* dapat dipilih sebagai gelagar pelat yang mampu meningkatkan kapasitasnya tanpa mempertinggi profil, yang juga berarti tidak akan mengurangi tinggi ruang bebas pada jembatan jalan persilangan tidak sebidang. Akan tetapi, selain peningkatan peningkatan diatas, dalam perancangan perlu mempertimbangkan penambahan kebutuhan bahan pelat dari bentuk profil I menjadi

double delta. Dalam penelitian ini kebutuhan bahan pelat untuk rasio tinggi dan lebar pelat 4,6 bertambah dari 1150 mm² menjadi 1750 mm², atau meningkat 1,52 kali, sedangkan untuk rasio tinggi dan lebar pelat 5,29 bertambah dari 1410 mm² menjadi 2090 mm², atau meningkat 1,48 kali.

KESIMPULAN

1. Terkait dengan tinggi ruang bebas pada jembatan jalan persilangan tidak sebidang, maka gelagar pelat baja dengan model *dobel delta* dapat dipilih sebagai gelagar jembatan jalan persilangan tidak sebidang yang memerlukan peningkatan kapasitasnya tanpa mempertinggi permukaan jalan pada bagian jembatan dan atau tanpa mengurangi tinggi ruang bebas jalan di bawahnya.
2. Selain itu, dilihat dari sisi tinggi gelagar model ini sangat berbeda dengan balok Castella, sama sama bisa meningkatkan kapasitasnya lebih dari 200%, tetapi balok Castella memerlukan penambahan tinggi gelagar untuk bisa meningkatkan kapasitasnya.
3. Berdasarkan hasil dan pembahasan uji eksperimental dua model gelagar pelat baja penampang *dobel delta* dengan rasio tinggi pelat badan dan lebar pelat sayap 4,6 dan 5,29, yang keduanya menunjukkan peningkatan kemampuan menahan beban 2,65 kali dan peningkatan momen maksimum berturut turut 2,21 dan 2,5 kali dari tampang profil I aslinya. Namun demikian, peningkatan tersebut membutuhkan tambahan bahan pelat baja dengan volume berkisar 1,48-1,52 kalinya.

DAFTAR PUSTAKA

- Supriyadi, B., dan Pitoyo (2009). "Studi Eksperimen Usaha Peningkatan Kapasitas Lentur Gelagar Pelat Baja Penampang I". *Prosiding Seminar Nasional Teknik Struktur 2009: Perkembangan Mutakhir Pemanfaatan Material Baja Dalam Industri Konstruksi*, Universitas Katolik Parahyangan Bandung.
- Apriyatno, H. (2000). "Pengaruh Rasio Tinggi dan Tebal Badan Balok Castella pada Kapasitas Lentur". Tesis S2 UGM, Yogyakarta.
- Shan, M.Y. (1996). "Bending and Shear Behavior of Web Elements with Openings." *Journal Structural Engineering*, ASCE, 122, (854-858).
- Taly, N. (1998). *Design of Modern Highway Bridges*, Mc Graw Hill Companies, Inc., page 914-915.
- Walid Zaarour and Redwood, R. (1996). "Web Buckling in Thin Webbed Castellated Beams." *Journal Structural Engineering*, ASCE, 122, (860-866).
- Salmon, C.G., dan Jhonson, J.E. (1996). *Wira, Struktur Baja Desain dan Perilaku*, Jilid 2, edisi ketiga, Erlangga, Jakarta.
- Blodgett, O. (1982). *Design of Welded Structures, in Wide-Flange Beams*. The James F. Linclon Arc Welding Foundation, Ohio.