

## **STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH TEMBAGA TERHADAP KUAT TARIK BAJA**

Muhammad Jailani Muslim, Ageng Habrur Fahmi, Purwanto<sup>\*)</sup>, Arif Hidayat<sup>\*)</sup>

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro  
Jl. Prof Soedarto, Tembalang, Semarang. 50239, Telp.: (024)7474770, Fax.: (024)7460060

### **ABSTRAK**

*Baja adalah paduan logam yang tersusun dari besi sebagai unsur utama dan karbon sebagai unsur penguat. Unsur karbon banyak berperan dalam peningkatan kualitas baja. Beberapa unsur dipadu dengan baja agar dapat memperbaiki kemampuan tarik baja. Pada penelitian ini memadukan antara baja karbon dengan tembaga. Baja paduan tembaga diharapkan akan dapat meningkatkan kuat tarik dari baja tersebut. Penelitian ini dilakukan sampel dengan menggunakan baja tanpa paduan (TP), baja paduan 0,5% tembaga (FeCu-5) dan baja paduan 1,0% tembaga (FeCu-10). Pengujian dilakukan berupa pengujian komposisi, pengujian kekerasan dan pengujian tarik baja. Pada pengujian tarik baja didapatkan data tegangan, regangan, modulus elastisitas dan daktilitas baja. Hasil yang didapatkan dari eksperimen ini, penambahan tembaga 1,0% meningkatkan tegangan ultimate baja sebesar 42,42% dibandingkan dengan baja cor tanpa paduan. Sedangkan memberikan penurunan tegangan ultimate pada baja paduan 0,5% tembaga sebesar 30,98% dibandingkan baja cor tanpa paduan.*

**kata kunci :** *baja paduan, tembaga, tegangan ultimate*

### **ABSTRACT**

*Steel is a metal alloy composed of iron as main element and carbon as an element of reinforcement. Carbon element play a role in improving the quality of the steel. Combined steel to can fix the ability of tensile strength the steel. In this research, combine carbon steel with copper. Copper alloy steel expected to increase the tensile strength of the steel. In this research we use sample with the non alloy steel (TP), alloy steel with 0,5% copper alloy (FeCu-5), and alloy steel with 1,0% copper alloy (FeCu-10), testing that will do in the form of composition testing, hardness testing, and tensile testing. The steel tensile testing we get the data of stress, strain, modulus elasticity, and ductility. The result obtained from this research is 1% copper alloy increases the ultimate tension by 42,42% compared with non alloy steel. While there is decrease in the ultimate stress by 0,5% copper alloy by 30,98% compared with non alloy steel.*

**keywords:** *alloy steel, copper, ultimate tension*

---

<sup>\*)</sup> Penulis Penanggung Jawab

## PENDAHULUAN

Beton bertulang (*reinforced concrete*) adalah struktur komposit yang sangat baik untuk digunakan pada konstruksi bangunan. Pada struktur beton bertulang terdapat berbagai keunggulan akibat dari penggabungan dua buah bahan, yaitu beton dan baja sebagai tulangan. Keunggulan dari beton adalah kuat tekannya yang tinggi, sementara baja tulangan sangat baik untuk menahan gaya tarik. Penggabungan antara material beton dan baja tulangan memungkinkan pelaku konstruksi untuk mendapatkan bahan baru dengan kemampuan untuk menahan gaya tekan, tarik, dan geser sehingga struktur bangunan secara keseluruhan menjadi lebih kuat dan aman.

Tetapi baja juga termasuk material yang cukup mahal harganya sehingga dibutuhkan pengukuran dan perhitungan yang tepat untuk merencanakan menggunakan material baja. Maka dibutuhkan ukuran baja seoptimum mungkin dan kekuatan tarik yang maksimal. Sedangkan baja sendiri merupakan besi dengan kadar karbon kurang dari 2 %. Baja dapat dibentuk menjadi berbagai macam bentuk sesuai dengan keperluan. Secara garis besar ada 2 jenis baja, yaitu : Baja karbon dan Baja Paduan.

Baja karbon dapat disebut juga dengan *plain carbon steel*, mengandung unsur karbon dan sedikit *silicon*, belerang dan *posphor*.

Baja paduan dikatakan di padu jika komposisi unsur-unsur paduannya secara khusus, bukan baja karbon biasa yang terdiri dari unsur silisium dan mangan. Unsur yang paling banyak di gunakan untuk baja paduan , yaitu : Cr, Mn, Si, Ni, W, Mo, Ti, Al, Cu, Nb, Zr. Pada penambahan tembaga (Cu) diharapkan akan dapat memberikan pengaruh terhadap kuat tarik baja.

Selain penjelasan diatas, pada ayat Al-Qur'an surat Al-Kahfi ayat 96-97 juga menyatakan tentang kekuatan baja yang dicampur dengan tembaga, sebagai berikut ;

أَثَوِي زُبْرَ حَتَّائِ الْحَدِيدِ الصَّدَقِيَيْنِ سَاوِلًا إِذَا قَالَ حَتَّائِفُخُوا إِذَا جَعَلَهُ عَلَيْهِنَّ غَاثُونِنَا نَارًا قَطْرًا

berilah aku potongan-potongan besi". Hingga apabila besi itu telah sama rata dengan kedua (puncak) gunung itu, berkatalah Dzulkarnain: "Tiuplah (api itu)". Hingga apabila besi itu sudah menjadi (merah seperti) api, diapun berkata: "Berilah aku tembaga (yang mendidih) agar aku kutuangkan ke atas besi panas itu".

### (QS: Al-Kahfi Ayat: 96)

فَمَا اسْتَطَاعُوا اسْتِطَاعُوا وَمَا يَظْهَرُونَ هُنَّ نَقْبَالُهُ

Maka mereka tidak bisa mendakinya dan mereka tidak bisa (pula) melobanginya.

### (QS: Al-Kahfi Ayat: 97)

Dan dengan dasar yang kami peroleh dari surat Al-kahfi ayat 96-97 dan beberapa literatur tersebut maka kami menarik kesimpulan bahwasanya paduan dari baja dan tembaga tersebut berkemungkinan besar akan menjadi logam paduan yang kuat.

## **Tujuan**

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui kuat tarik baja terhadap penambahan paduan unsur tembaga.
2. Mengetahui nilai kekerasan baja terhadap penambahan paduan unsur tembaga.

## **Batasan Masalah**

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Cara pembuatan baja tidak dilakukan dengan fabrikasi melainkan dengan peleburan home industri.
2. Pembuatan baja berasal dari baja pasaran yang dicairkan.
3. Pengujian yang dilakukan pada material berupa :
  - Pengujian Komposisi
  - Pengujian Tarik
  - Pengujian Kekerasan

## **TINJAUAN PUSTAKA**

Baja tulangan beton adalah baja berbentuk batang berpenampang bundar yang digunakan untuk penulangan beton, yang diproduksi dari bahan baku billet dengan cara canai panas (*hot rolling*). Bahan dasar baja tulangan adalah billet yang mengandung campuran bahan kimia, antara lain Karbon (C), Mangan (Mn), Silikon (Si), Fosfor (P), dan Sulfur (S). Menurut SNI 2052-2014, baja tulangan yang tersedia dipasaran ada 2 jenis, yaitu baja tulangan polos (BjTP) dan baja tulangan ulir atau sirip (BjTS).

Properti material sering dideskripsikan dalam bentuk hubungan tegangan regangan yang merupakan karakteristik dari sejumlah baja struktural.

### **Sifat Mekanis Baja Tulangan Beton**

1. Bila suatu logam dibebani beban tarik maka akan mengalami deformasi, yaitu perubahan ukuran atau bentuk karena pengaruh beban yang dikenakan padanya. Deformasi ini dapat terjadi secara elastis dan plastis.
2. Deformasi elastis, yaitu suatu perubahan yang segera hilang dan kembali ke bentuk awal apabila beban diadakan.
3. Deformasi plastis, yaitu suatu perubahan yang akan tetap ukuran dan bentuknya apabila beban diadakan.

### **Uji Komposisi Baja**

Spektrometer adalah sebuah alat yang digunakan untuk mengamati spektrum cahaya yang terurai setelah melewati suatu medium sehingga membentuk suatu spektrum. Spektrometer adalah alat untuk mengukur spektrum. Uji komposisi adalah untuk mengidentifikasi bahan-bahan yang terkandung dalam suatu material. Dengan menggunakan alat spektrometer dapat diketahui komposisi campuran dari bahan dasar penyusun baja tulangan beton, komposisi campuran akan menentukan karakteristik baja.



Gambar 1. Alat uji komposisi (spektrometer) dan data hasil pengujian

### **Uji Tarik Baja**

Pengujian tarik adalah dasar dari pengujian mekanik yang dipergunakan pada material. Dimana spesimen uji yang telah distandarisasi, dilakukan pembebanan *uniaxial* sehingga spesimen uji mengalami peregangan dan bertambah panjang hingga akhirnya putus.



Gambar 2. *Universal Testing Machines*

### **Uji Kekerasan Baja**

Pengujian kekerasan adalah ketahanan bahan atau logam terhadap deformasi yaitu deformasi tekan atau indentansi. Pengujian kekerasan bertujuan untuk mengukur tahanan dari bahan atau logam terhadap deformasi plastis.



Gambar 3. Alat uji kekerasan

## **METODOLOGI PENELITIAN**

### **Penentuan Benda Uji**

Mix desain direncanakan untuk material bahan dasar baja tulangan yang akan dilebur dengan paduan tembaga adalah baja pasaran dengan merk perwira yang akan dilebur dengan menggunakan tanur induksi. Ketentuan mix desain baja tulangan bisa dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Mix Desain Baja Tulangan

| No | Bahan       | Material dasar (FP) |          | Paduan 0,5%<br>FeCu-5 |          | Paduan 1,0%<br>FeCu-10 |          |
|----|-------------|---------------------|----------|-----------------------|----------|------------------------|----------|
|    |             | Berat (kg)          | % paduan | Berat (kg)            | % paduan | Berat (kg)             | % paduan |
| 1  | Bahan dasar | 150                 |          | 150                   |          | 150                    |          |
| 2  | Tembaga     | 0                   | 0        | 0,75                  | 0,5      | 1,5                    | 1        |

Tembaga yang digunakan dalam penelitian ini adalah berupa lilitan tembaga yang digunakan dalam kelistrikan. Penelitian ini merupakan penelitian bagian dari penelitian hibah “Studi Eksperimental Pengaruh Tembaga Terhadap Kuat Tarik Baja”. Penelitian tugas akhir ini mengambil 3 jenis benda uji baja dengan masing-masing benda uji terdapat 2 sample seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Kode spesimen dan jenis paduan

| Kode spesimen uji | Komposisi paduan % terhadap berat baja                     | Jumlah Benda Uji |
|-------------------|--|------------------|
| FP                | Material non paduan / baja tulangan fabrikasi merk perwira | 2                |
| TP                | Material non paduan / baja leburan tanpa paduan            | 2                |
| FeCu-5            | Material dengan penambahan tembaga 0,5 % dari baja         | 2                |
| FeCu-10           | Material dengan penambahan tembaga 1,0 % dari baja         | 2                |

### **Pembuatan Benda Uji**

Pembuatan benda uji pada penelitian ini dilakukan di peleburan home industri di daerah Ceper, Klaten dengan menggunakan tanur induksi untuk peleburannya, dengan tahapan peleburan sebagai berikut:

### **Persiapan Material Bahan Dasar**

Bahan baku material dasar yang digunakan dalam penelitian baja paduan tembaga ini adalah dari baja tulangan polos berdiameter 19 mm yang dijual dipasaran dengan merk perwira.

### **Pembuatan Cetakan Pasir**

Membuat cetakan pasir dengan bentuk baja tulangan polos diameter 19 mm.

### **Pemanasan pada tanur induksi**

Pemanasan Tanur Induksi dilakukan secara bertahap dari temperatur 200° hingga temperatur 500°C kemudian dimasukkan bahan dasar baja tulangan untuk dilebur.

### **Peleburan Bahan Dasar Sampai Menjadi Cair**

Melebur baja pasaran sampai cair kemudian dimasukkan tembaga untuk paduannya.

### **Penuangan Baja Cair kedalam Cetakan Pasir**

Menuangkan baja paduan tembaga yang telah cair dengan menggunakan *ladle* ke dalam cetakan pasir.

### **Pembukaan Cetakan Pasir**

Menunggu  $\pm$  60 menit agar suhu baja leburan turun dan padat, kemudian dapat membuka cetakan pasir tersebut.

### **Uji Komposisi**

Langkah-langkah pengujiannya adalah sebagai berikut :

1. Sampel diambil potongan idealnya yaitu tebal 2-5 cm.
2. Standarisasi alat menggunakan spesimen yang telah ada.
3. Memasukkan standarisasi kedalam komputer.
4. Melakukan pengujian kepada benda yang ingin diuji.
5. Membandingkan hasil pengujian dengan spesimen standarisasi.

### **Uji Tarik**

Langkah-langkah pengujiannya adalah sebagai berikut :

1. Pembentukan spesimen agar sesuai dengan grip pegangan alat pengujian dengan acuan ASTM E8-04.
2. Memberikan kode pada tiap spesimen sesuai dengan paduannya masing-masing.
3. Pengujian tarik dengan alat *Universal Testing Machine*.
4. Pengambilan data hasil pengujian.

### **Uji Kekerasan**

Langkah-langkah pengujiannya adalah sebagai berikut :

1. Membagi dan memotong spesimen untuk uji kekerasan.
2. Memberikan kode untuk tiap-tiap spesimen sesuai paduan.
3. Mengamplas spesimen uji sehingga spesimen menjadi rata, halus dan mengkilap.
4. Melakukan uji kekerasan dengan alat uji kekerasan standar Rockwell.
5. Mencatat hasil pengujian kekerasan tersebut.

**HASIL DAN ANALISA DATA**

**Hasil Pengujian Kekerasan**

Hasil pengujian kekerasan baja dapat dilihat pada Tabel 3 berikut ini :

Tabel 3. Hasil Pengujian Kekerasan

| No.                            | Spesimen Uji Posisi Acak | Nilai Kekerasan Rockwell (HRA) | Rata-rata Kekerasan Rockwell |
|--------------------------------|--------------------------|--------------------------------|------------------------------|
| A Spesimen Perwira             |                          |                                |                              |
| 1                              | Pengujian 1              | 51.5                           | 51.83                        |
| 2                              | Pengujian 2              | 53                             |                              |
| 3                              | Pengujian 3              | 51                             |                              |
| B Spesimen Tanpa Paduan        |                          |                                |                              |
| 1                              | Pengujian 1              | 44.5                           | 45                           |
| 2                              | Pengujian 2              | 45                             |                              |
| 3                              | Pengujian 3              | 45.5                           |                              |
| C Spesimen Paduan Tembaga 0,5% |                          |                                |                              |
| 1                              | Pengujian 1              | 41                             | 41.33                        |
| 2                              | Pengujian 2              | 39                             |                              |
| 3                              | Pengujian 3              | 44                             |                              |
| D Spesimen Paduan Tembaga 1,0% |                          |                                |                              |
| 1                              | Pengujian 1              | 46.5                           | 49.33                        |
| 2                              | Pengujian 2              | 54.5                           |                              |
| 3                              | Pengujian 3              | 47                             |                              |

Dari data uji kekerasan dapat dilihat pula bahwa penambahan tembaga memberikan kenaikan secara terus menerus pada paduan 1,0% dari berat spesimen benda uji. Tetapi memberikan penurunan pada paduan 0,5% tembaga dari berat spesimen benda uji.

**Hasil Pengujian Tarik**

Hasil pengujian tarik baja dapat dilihat pada Tabel 4 berikut ini :

Tabel 4. Hasil Pengujian Tarik

| Kode    |   | Diameter Pengujian | $L_0$ | $\Delta L$ | $P_y$ | $P_u$ |
|---------|---|--------------------|-------|------------|-------|-------|
|         |   | (mm)               | (mm)  | (mm)       | (N)   | (N)   |
| FP      | 1 | 12,00              | 61,94 | 19         | 45000 | 71000 |
|         | 2 | 12,02              | 62,04 | 18         | 44500 | 70000 |
| TP      | 1 | 10,05              | 54,58 | 2          | 22000 | 22500 |
|         | 2 | 10,04              | 53,28 | 4          | 23000 | 24500 |
| FeCu-5  | 1 | 10,07              | 50,81 | 3          | 14000 | 15000 |
|         | 2 | 10,02              | 53,02 | 3          | 16000 | 17500 |
| FeCu-10 | 1 | 10,03              | 53,16 | 3          | 29500 | 30000 |
|         | 2 | 10,06              | 53,14 | 6          | 31000 | 37000 |

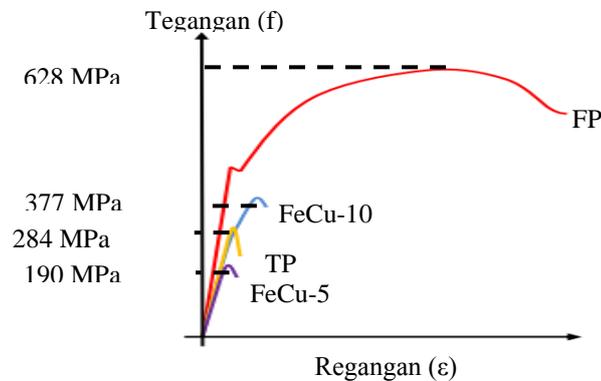
Setelah dilakukan pengujian tarik benda uji baja didapatkan data. Data tersebut antara lain adalah besarnya tegangan dan regangan dari spesimen baja.

### Tegangan dan Regangan

Setelah dilakukan pengujian tarik diatas dapat dihitung tegangan dan regangan untuk masing-masing spesimen baja. Data hasil perhitungan tegangan dan regangan dapat dilihat pada Tabel 5 dan Gambar 4 berikut :

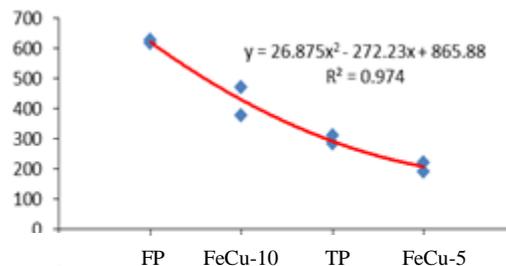
Tabel 5. Data Tegangan dan Regangan

| Kode    |   | Diameter Pengujian | $L_0$ | $\Delta L$ | $\epsilon_y$ | $\epsilon_u$ | $\epsilon_R$ | $P_y$ | $P_u$ | $f_y$ | $f_{ultimate}$ |
|---------|---|--------------------|-------|------------|--------------|--------------|--------------|-------|-------|-------|----------------|
|         |   | (mm)               | (mm)  | (mm)       | (%)          | (%)          | (%)          | (N)   | (N)   | (Mpa) | (Mpa)          |
| FP      | 1 | 12,00              | 61,94 | 19         | 1,94         | 24,22        | 30,67        | 45000 | 71000 | 398   | 628            |
|         | 2 | 12,02              | 62,04 | 18         | 1,77         | 24,45        | 29,01        | 44500 | 70000 | 392   | 617            |
| TP      | 1 | 10,05              | 54,58 | 2          | 1,83         | 3,66         | 3,66         | 22000 | 22500 | 277   | 284            |
|         | 2 | 10,04              | 53,28 | 4          | 1,88         | 3,75         | 7,51         | 23000 | 24500 | 291   | 310            |
| FeCu-5  | 1 | 10,07              | 50,81 | 3          | 1,11         | 2,95         | 5,90         | 14000 | 15000 | 176   | 190            |
|         | 2 | 10,02              | 53,02 | 3          | 1,13         | 2,26         | 5,66         | 16000 | 17500 | 203   | 220            |
| FeCu-10 | 1 | 10,03              | 53,16 | 3          | 1,88         | 3,76         | 5,643        | 29500 | 30000 | 374   | 377            |
|         | 2 | 10,06              | 53,14 | 6          | 2,26         | 9,41         | 11,29        | 31000 | 37000 | 390   | 469            |



Gambar 4. Grafik  $f - \epsilon$  Masing-Masing Kode Benda Uji

Dari data-data diatas dapat disajikan dalam grafik perubahan tegangan *ultimate* dari masing-masing spesimen benda uji sebagai berikut ini :



Gambar 5. Grafik Tegangan *Ultimate* Masing-Masing Benda Uji

Perubahan nilai kuat tarik material dan daktilitas material sangat dipengaruhi oleh prosentase paduan tembaga terhadap berat benda uji adalah sebagai berikut :

- Nilai tegangan *ultimate* rata-rata pada baja pasaran (FP) sebesar 622,5 MPa.
- Nilai tegangan *ultimate* rata-rata pada spesimen tanpa paduan (TP) sebesar 297 MPa.
- Nilai tegangan *ultimate* rata-rata pada spesimen paduan (FeCu-5) sebesar 205 MPa.
- Nilai tegangan *ultimate* rata-rata pada spesimen paduan (FeCu-10) sebesar 423 MPa.

## **KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil pembahasan analisa data hasil pengujian pada bab sebelumnya, dapat diambil kesimpulan:

1. Dari data uji tarik dapat dilihat bahwa spesimen FeCu-5 ini tidak masuk dalam kelas BjTP24 dengan tegangan leleh minimum 235 N/mm<sup>2</sup>. Material TP masuk dalam BjTP24 dengan nilai tegangan leleh minimum sebesar 235 N/mm<sup>2</sup>. Sedangkan material FeCu-10 dan FP dapat digolongkan dalam kelas BjTP30 dengan tegangan leleh minimum 294 N/mm<sup>2</sup>.
2. Dari data uji kekerasan dapat dilihat bahwa spesimen FeCu-5, TP, FeCu-10 dan FP ini masuk dalam klasifikasi baja lunak dengan nilai kekerasan 20-65 HRA. Semuanya termasuk dalam kelas kekerasan A karena menggunakan beban 60 kg pada saat pengujian kekersan.

## **SARAN**

Saran yang dapat diberikan dari hasil penelitian ini untuk penelitian selanjutnya antara lain:

1. Kadar air dalam cetakan pasir yang tinggi akan mengakibatkan baja cair yang akan dituangkan kedalam cetakan pasir mengalami timbulnya gas dikarenakan panas baja cair dan kadar air yang berda dalam cetakan pasir bertemu dan mengakibatkan porositas setelah baja kering.
2. Pada penelitian ini tidak ada proses penggilingan seperti pada pabrikasi baja sehingga baja yang dihasilkan kurang padat dan kurang sempurna.
3. Penelitian bisa dilakukan lebih lanjut dengan bekerjasama dengan pabrik pembuatan baja.
4. Pada penelitian selanjutnya disarankan member paduan tiap 1,0% tembaga.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- Agus Purwanto, 2003. *Buku Teknik Sipil*, Beta offset, Jogjakarta.
- Amanto, Hari dan Daryanto, 1999. *Ilmu Bahan*, Raih Asa Sukses, Jakarta.
- ASM Handbook, Volume 4, 1991. *Heat Treating*, ASM Metals Handbook, New York.
- ASTM E 18-07, 2008. *Standard Test Method for Rockwell Hardness of Metallic Materials*. ASTM Internasional, New York.
- Azwaruddin, 2008. *Pengertian Baja*, Beta offset, Jogjakarta.
- Badan Standarisasi Nasional, 2014. SNI 2052-2014 *Baja Tulangan Beton*, SNI, Jakarta.
- Bestananda, 2003. *Pengertian Besi Beton*, flash book, Malang.
- Callister Jr.W.D, 2004. *Material science and Engineering:Introduction*, New York.
- Dieter, George E.1993. *Metalurgi mekanik*, Erlangga, Jakarta.
- Octoviawan, Nur Aziz, 1998. *Sifat Mekanis Material Baja*, flash book, Jakarta.