

ANALISIS PENGARUH DIAMETER PADA PROSES *TEMPCORE* TERHADAP PERUBAHAN SIFAT MEKANIK BAJA TULANGAN SIRIP (BjTS)

Nadia Firdausy

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Email: nadia.19007@mhs.unesa.ac.id

Novi Sukma Drastiawati

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Email: novidrastiawati@unesa.ac.id

Abstrak

Penelitian ini fokus terhadap kekuatan tarik dan kekuatan *bending* baja tulangan. Hal ini diakibatkan masih banyak baja tulangan yang tidak sesuai standar yang berlaku di Indonesia yaitu Standar SNI. Penelitian ini akan melakukan pengujian tarik dan *bending* pada baja tulangan diameter 13mm dan 16mm tanpa dan dengan perlakuan *tempcore*. Variabel bebas pada penelitian ini adalah diameter dan perlakuan, variabel kontrol pada penelitian ini adalah kekuatan tarik dan kekuatan *bending* baja tulangan, dan variabel terikat pada penelitian ini adalah media pendinginan, tekanan air, dan luas area *tempcorebox*. Hasil dari penelitian ini adalah nilai kekuatan tarik pada baja tulangan diameter 13mm tanpa dan dengan perlakuan *tempcore* yaitu 553 MPa dan 607 MPa, mengalami kenaikan sebesar 9,7% dan nilai kekuatan tarik baja tulangan diameter 16mm adalah tanpa dan dengan perlakuan *tempcore* yaitu 579 MPa dan 617 MPa, mengalami kenaikan 6,7%. Sedangkan nilai kekuatan *bending* pada baja tulangan diameter 13mm tanpa dan dengan perlakuan *tempcore* yaitu 1.220 MPa dan 1.501 MPa, mengalami kenaikan 23% dan nilai kekuatan *bending* pada baja tulangan diameter 16mm tanpa dan dengan perlakuan *tempcore* yaitu 955 MPa dan 1.148 MPa, mengalami kenaikan 20%. Melalui pengamatan struktur mikro, perlakuan tanpa *tempcore* akan menghasilkan struktur ferit-perlit. Sedangkan pada perlakuan dengan *tempcore* menghasilkan struktur martensit dan ferit-perlit.

Kata kunci: *Billet*, *tempcore*, baja tulangan, *quenching*, *self-tempering*, diameter

Abstract

This research focuses on the tensile strength and bending strength of reinforcing steel. This is because there are still many reinforcing steels that are not in accordance with applicable standards in Indonesia, namely SNI Standards. This research will conduct tensile and bending testing on 13mm and 16mm diameter reinforcing steel without and with tempcore treatment. The independent variables in this study are diameter and treatment, the control variables in this study are tensile strength and bending strength of reinforcing steel, and the variables tied to this study are cooling media, water pressure, and tempcorebox area. The result of this study is the tensile strength value of 13mm diameter reinforcing steel without and with tempcore treatment, which is 553 MPa and 607 MPa, increased by 9.7% and the tensile strength value of 16mm diameter reinforcing steel is without and with tempcore treatment, which is 579 MPa and 617 MPa, increased by 6.7%. While the value of bending strength in 13mm diameter reinforcing steel without and with tempcore treatment, namely 1,220 MPa and 1,501 MPa, increased by 23% and the value of bending strength in 16mm diameter reinforcing steel without and with tempcore treatment, which was 955 MPa and 1,148 MPa, increased by 20%. Through microstructure observation, treatment without tempcore will produce ferrite-perlite structure. While the treatment with tempcore produces martensitic and ferrite-perlite structures.

Keywords: *billet*, *tempcore*, reinforcing steel, *quenching*, *self-tempering*, diameter

PENDAHULUAN

Infrastruktur yaitu elemen dasar dari suatu kota meliputi bangunan utama dari suatu kegiatan dan bangunan penunjang kegiatan. Infrastruktur ini mengacu pada sistem fisik yang menyediakan transportasi, air, bangunan, dan fasilitas publik lain

yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan dasar manusia secara ekonomi dan sosial. (Ali, 2009)

Pembangunan Infrastruktur dilaksanakan berdasarkan kebutuhan dan tingkat kepentingan, sehingga diperlukan skala prioritas pembangunannya. Terkait dengan konstruksi pembangunan gedung atau jembatan terdiri dari

berbagai macam jenis bahan material konstruksi, di antaranya ada kayu, beton, atau baja. Pemilihan bahan material itu juga merupakan bagian yang sangat penting dalam suatu tahapan perencanaan. (Ari, 2018)

Baja adalah salah satu bahan konstruksi yang paling sering digunakan dalam pembangunan, dan juga merupakan elemen penting dalam dunia konstruksi. Pengerjaannya yang lebih efisien juga menjadi salah satu faktor utama elemen baja menjadi pilihan utama dalam konstruksi, tentunya pada bentuk dan jenis tertentu dan pada tingkat kekuatan suatu struktur konstruksi tertentu. (Adnan, 2018)

Baja Tulangan atau dikenal dengan *reinforcing bars* adalah baja tulangan yang digunakan untuk memperkuat struktur beton. Baja dirakit dengan menggunakan pengikat sebelum coran betodituangkan. Baja tulangan terdiri dari dua jenis adalah baja tulangan beton polos (BjTP) dan baja beton tulangan sirip (BjTS). Standard kualitas baja yang ada di pasar adalah SNI. Permasalahan yang sering timbul di lapangan adalah baja tulangan yang kekuatannya tidak memenuhi standar SNI. Sehingga dapat merugikan konsumen apabila terjadi kegagalan pada konstruksi. Pada aplikasi di lapangan, baja tulangan akan menerima pembebanan berupa lengkungan dan mulur saat pemasangan. Maka dari itu diperlukan baja tulangan yang sesuai sehingga mampu menahan beban yang dimaksudkan.

Penelitian ini diharapkan dari proses pembuatan baja tulangan yaitu, hasil baja tulangan yang memiliki permukaan keras dengan inti (*core*) yang ulet, tentu saja dengan kekuatan dan ketahanan yang sesuai sehingga mampu menahan beban yang diberikan. Berdasarkan uraian diatas, sebagai seorang peneliti tentu harus mencari tahu mengenai penyebab dari kerusakan dan kegagalan infrastruktur. Maka peneliti fokus pada proses *tempcore* pada proses pembuatan baja tulangan dengan topik “ANALISIS PENGARUH DIAMETER PADA PROSES TEMP CORE TERHADAP PERUBAHAN SIFAT MEKANIK BAJA TULANGAN SIRIP (BjTS)”.

Rumusan Masalah

Ada beberapa permasalahan yang dapat dirumuskan oleh penulis dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh proses *tempcore* terhadap kekuatan tarik baja tulangan?
2. Bagaimana pengaruh proses *tempcore* terhadap kekuatan *bending* baja tulangan?

Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Untuk mengetahui pengaruh diameter terhadap kekuatan tarik pada baja tulangan
- Untuk mengetahui pengaruh diameter terhadap kekuatan *bending* pada baja tulangan

METODE

Jenis Penelitian

Penelitian ini adalah penelitian dengan jenis penelitian eksperimental, yaitu metode untuk mencari hubungan sebab akibat antara beberapa variabel yang berpengaruh.

Waktu dan Tempat Penelitian

Waktu penelitian

Penelitian ini dimulai dari bulan Juli – Oktober 2023

Tempat penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium *quality control* PT Hanil Jaya Steel dan Laboratorium pengujian material Politeknik Negeri Malang.

Variabel Penelitian

Variabel Bebas

Variabel bebas dari penelitian ini adalah perlakuan yang diberikan terhadap baja tulangan yaitu perlakuan kepada baja tulangan yaitu tanpa dan dengan *tempcore*. Selain perlakuan pada baja tulangan, variabel bebas dari penelitian ini adalah diameter dari baja tulangan yaitu 13 dan 16 mm.

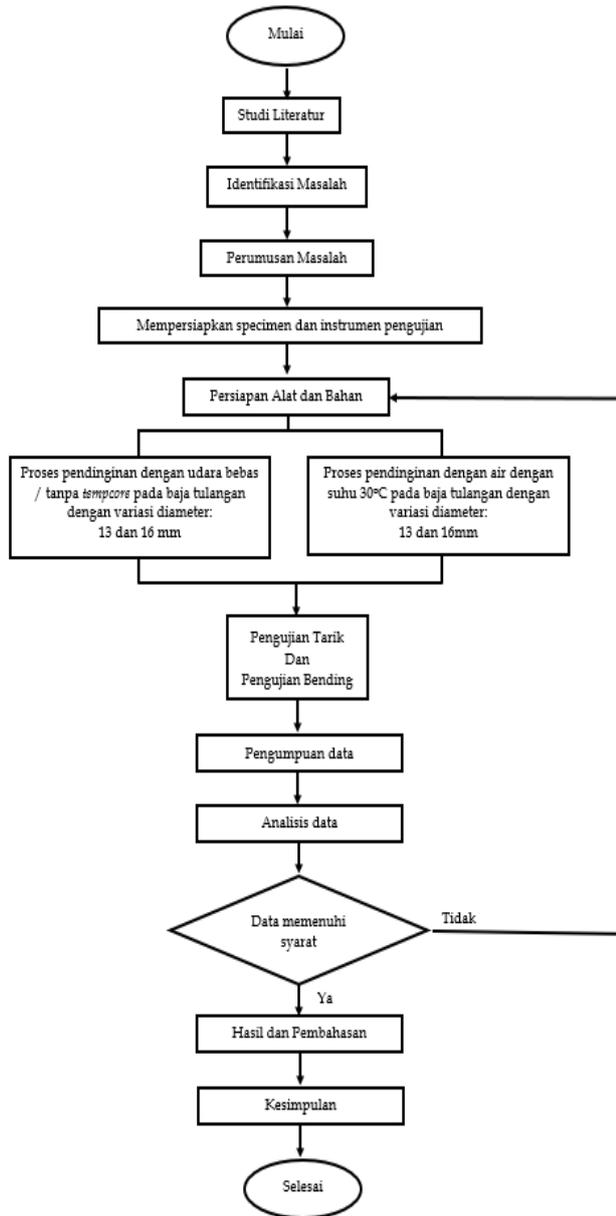
Variabel Terikat

Dalam penelitian yang menjadi variabel terikat adalah kekuatan tarik dan kekuatan *bending* dari baja tulangan.

Variabel Kontrol

Dalam penelitian ini yang menjadi variabel kontrol adalah media pendinginan yaitu air dan temperatur air yaitu 30°C, tekanan air pada *nozzle* dan luas penampang *tempcore box*.

Rancangan Penelitian



Gambar 1. Diagram Alur

Cara Pengujian Tarik

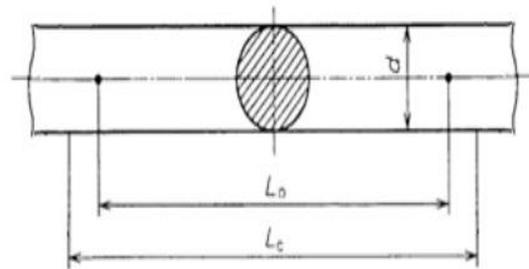
- Mengukur dan menimbang specimen
- Memberikan *gauge length* pada specimen
- Memasang specimen pada mesin pengujian tarik
- Menyalakan mesin pengujian tarik
- Melakukan *setting* pada program pengujian
- Melakukan pengujian
- Mengukur panjang *gauge length* setelah pengujian
- Mencatat hasil

Cara Pengujian *Bending*

- Mengukur dan menimbang specimen
- Memberikan titik tengah pada specimen

- Mengatur catok dan pendulum
- Memasang specimen pada mesin pengujian *bending*
- Melakukan *setting* pada program pengujian
- Melakukan pengujian
- Mencatat hasil

Spesimen Uji Tarik



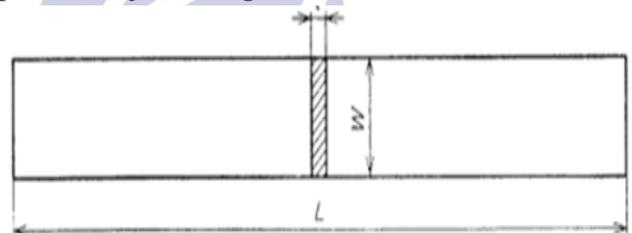
Gambar 2. Spesimen Uji Tarik SNI 2052-2017

L_o = *gauge length*

L_c = panjang bebas antar grip

d = diameter specimen

Spesimen Uji *Bending*



Gambar 3. Spesimen Uji *Bending* SNI 2052-2017

L : Panjang

D/W : Diameter

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Tarik

Pengujian tarik pada penelitian ini menggunakan standar SNI 2052:2017. Pengujian tarik dilaksanakan di Laboratorium pengujian material PT Hanil Jaya Steel. Spesimen yang digunakan dalam pengujian ini yaitu BjTS 420B dengan diameter 13mm dan 16mm dengan perlakuan dengan dan tanpa *tempcore*. Spesifikasi specimen uji adalah sebagai berikut:

| | | | | |
|---------|---|----------|---|-----------|
| Dimensi | : | Panjang | : | 540-570mm |
| | | Diameter | : | 13mm |
| | | | | 16mm |

| | | |
|--------|---|---|
| Jumlah | : | 12 specimen (masing-masing diameter dan perlakuan 3 specimen) |
|--------|---|---|



Gambar 4. Spesimen Uji Tarik

Proses pengujian tarik dilakukan setelah baja tulangan menyelesaikan segala proses pembuatan dengan variasi diameter 13mm dan 16mm tanpa dan dengan *tempcore*. Melalui pengujian tarik didapatkan hasil uji yang dapat dilihat pada tabel berikut

Tabel 1. Rata-Rata Uji Tarik

| Diameter (mm) | Spesimen | Titik tertinggi (N) | Kekuatan tarik (MPa) | Regangan (%) | |
|---------------|-----------------|---------------------|----------------------|--------------|-------|
| 13 | Tanpa tempcore | 1 | 70.866,66 | 551 | 18 |
| | | 2 | 71.100,00 | 553 | 17,5 |
| | | 3 | 71.233,33 | 554 | 16 |
| | Rata-rata | | | 553 | 17,16 |
| | Dengan tempcore | 1 | 77.933,33 | 606 | 18,5 |
| | | 2 | 78.366,66 | 609 | 21 |
| | | 3 | 77.766,66 | 605 | 19,5 |
| | | Rata-rata | | | 607 |
| 16 | Tanpa tempcore | 1 | 114.933,33 | 572 | 16 |
| | | 2 | 115.933,33 | 577 | 14 |
| | | 3 | 117.999,99 | 587 | 15 |
| | | Rata-rata | | | 579 |
| | Dengan tempcore | 1 | 122.866,66 | 611 | 17,5 |
| | | 2 | 123.733,33 | 616 | 17,5 |
| | | 3 | 125.066,66 | 623 | 17 |
| | | Rata-rata | | | 617 |

Hasil pada tabel 1 berasal dari perhitungan menggunakan rumus berikut:

Tegangan Tarik Maksimum

$$\sigma_u = \frac{P_u}{A_0}$$

Dimana:

σ_u = tegangan ultimate (MPa)

P_u = beban ultimate (N)

Regangan

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\%$$

Dimana:

ε = regangan (%)

ΔL = pertambahan Panjang (mm)

L_0 = panjang awal spesimen

Dimana nilai A_0 dan diameter aktual adalah

$$A_0 = \frac{1}{4} \pi d^2$$

Dimana:

A_0 = Luas penampang (mm²)

d = diameter aktual (mm)

$$\rho = \frac{m}{V}$$

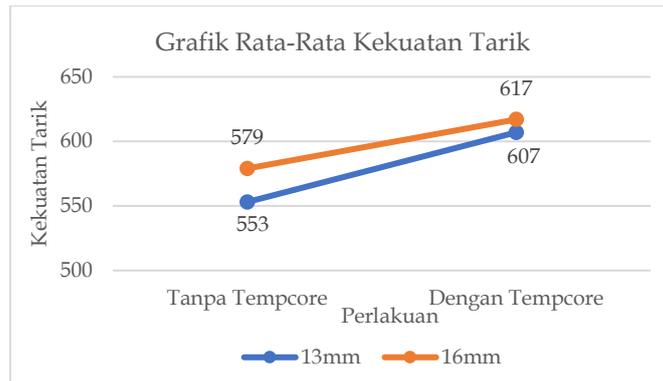
$$m = V \times \rho$$

Dimana:

m = massa (kg)

V = volume (cm³)

ρ = massa jenis (kg/cm³)



Gambar 5. Grafik Rata-Rata Uji Tarik

Dari gambar diatas menunjukkan bahwa variasi diameter 13mm dan 16mm dengan perlakuan tanpa dan dengan *tempcore* menunjukkan nilai yang berbeda-beda. Nilai kekuatan tarik dan regangan tertinggi terdapat pada baja tulangan yang telah diberi perlakuan *tempcore*. Nilai rata-rata kekuatan tarik baja tulangan diameter 13mm adalah 606,65 MPa mengalami kenaikan 6,5%. Sedangkan baja tulangan diameter 16mm memiliki nilai rata-rata kekuatan tarik sebesar 616,5 MPa mengalami kenaikan 13,8%.

Hasil Pengujian *Bending*

Pengujian *bending* pada penelitian ini menggunakan standar SNI 2052:2017. Dimana sudut lengkung yang digunakan adalah 180° dengan besar pelengkung adalah lima kali diameter spesmen. Pengujian *bending* dilaksanakan di Laboratorium Pengujian Bahan Politeknik Negeri Malang. Spesimen yang diganakan dalam pengujian ini yaitu

BjTS 420B dengan diameter 13mm dan 16mm dengan perlakuan dengan dan tanpa *tempcore*. Spesifikasi spesimen uji adalah sebagai berikut:

- Dimensi : Panjang : 150mm
- Diameter : 13mm
- 16mm
- Jumlah : 12 spesimen (masing-masing diameter dan perlakuan 3 spesimen)



Gambar 6. Spesimen Uji *Bending*

Proses pengujian *bending* dilakukan setelah baja tulangan menyelesaikan segala proses pembuatan dengan variasi diameter 13mm dan 16mm tanpa dan dengan *tempcore*. Melalui pengujian tarik didapatkan hasil uji yang dapat dilihat pada tabel

Tabel 2. Rata-Rata Uji *Bending*

| Diameter (mm) | Spe-simen | Beban (N) | Kekuatan <i>Bending</i> (MPa) | |
|---------------|-----------------|-----------|-------------------------------|-------|
| 13 | Tanpa tempcore | 1 | 17.350 | |
| | | 2 | 17.775,31 | |
| | | 3 | 15.983,8 | |
| | Rata-rata | | | 1.220 |
| | Dengan tempcore | 1 | 20.005,72 | |
| | | 2 | 21.581,56 | |
| | | 3 | 21.140,56 | |
| Rata-rata | | | 1.501 | |
| 16 | Tanpa tempcore | 1 | 25.538,8 | |
| | | 2 | 25.336,92 | |
| | | 3 | 25.062,52 | |
| | Rata-rata | | | 955 |
| | Dengan tempcore | 1 | 35.374,08 | |
| | | 2 | 33.972,68 | |
| | | 3 | 29.098,16 | |
| Rata-rata | | | 1.148 | |

Hasil pada tabel 2 berasal dari perhitungan menggunakan rumus berikut:

$$\sigma_f = \frac{3PL}{2bd^2}$$

Dimana:

σ_f = tegangan lengkung (MPa)

P = beban (N)

L = jarak point (mm)

b = lebar benda uji (mm)

d = ketebalan benda uji (mm)

untuk benda uji yang berbentuk silinder dapat dihitung menggunakan rumus perhitungan yang telah di sesuaikan yaitu

$$\sigma_f = \frac{3PL}{2\pi d \left(\frac{d}{2}\right)^2}$$

Dimana:

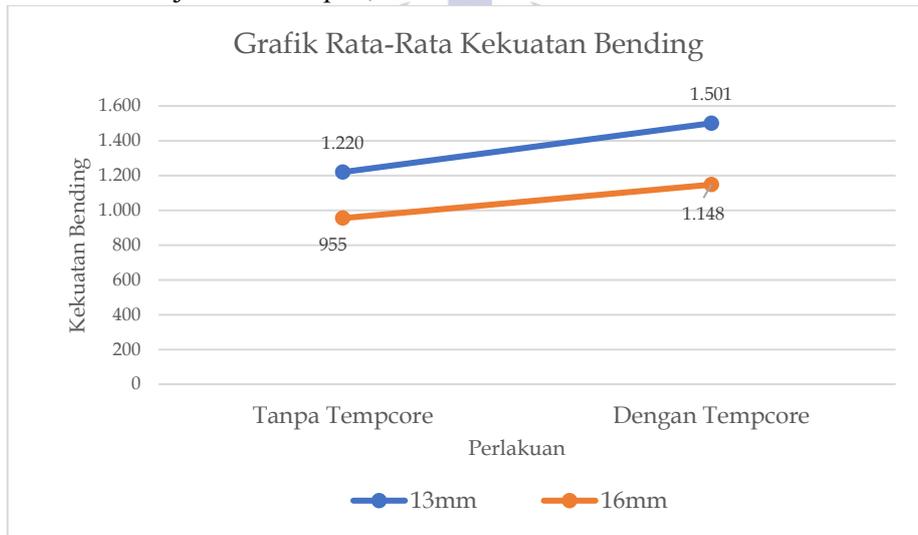
σ_f = tegangan lengkung (MPa)

P = beban (N)

L = jarak point (mm)

d = diameter aktual (mm)

Rumus perhitungan diatas merupakan rumus perhitungan untuk benda uji berbentuk plat, maka



Gambar 7. Grafik Rata-Rata Uji Bending

Dari gambar diatas menunjukkan bahwa variasi diameter 13mm dan 16mm dengan perlakuan tanpa dan dengan *tempcore* menunjukkan nilai yang berbeda-beda. Nilai rata-rata kekuatan *bending* baja tulangan diameter 13mm tanpa dan dengan *tempcore* adalah 1.220 MPa dan 1.501 MPa mengalami kenaikan 23%. Sedangkan baja tulangan diameter 16mm tanpa dan dengan *tempcore* memiliki nilai rata-rata kekuatan *bending* sebesar 955 MPa dan 1.148 MPa mengalami kenaikan 20%.

Laboratorium Metalurgi Manufaktur Institut Teknologi Sepuluh Nopember dengan spesifikasi

Dimensi : Panjang : 10mm

Diameter : 13mm dan 16mm

Jumlah : 1 spesimen setiap diameter dan perlakuan

Hasil Pengujian Metalografi

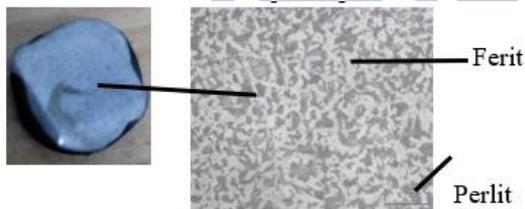
Pengamatan struktur mikro bertujuan untuk mendeteksi perubahan struktur mikro atau sifat mekanik. Perbesaran yang digunakan dalam pengamatan ini adalah 200x dan resolusi 50µm Perbesaran adalah perbandingan citra (gambar dua dimensi) dengan ukuran sebenarnya, dan resolusi adalah ukuran kejernihan citra (gambar dua dimensi), resolusi yang lebih tinggi membuat gambar lebih jelas dan tajam. Pengujian ini dilakukan di



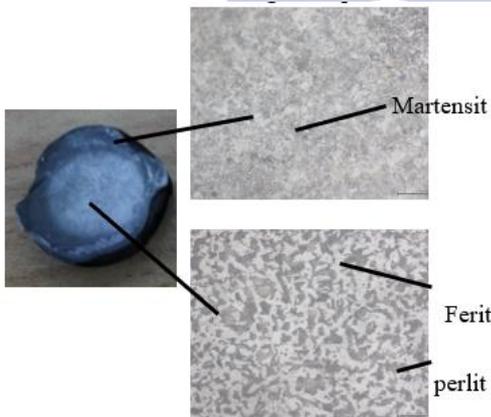


Gambar 8. Spesimen Uji Metalografi

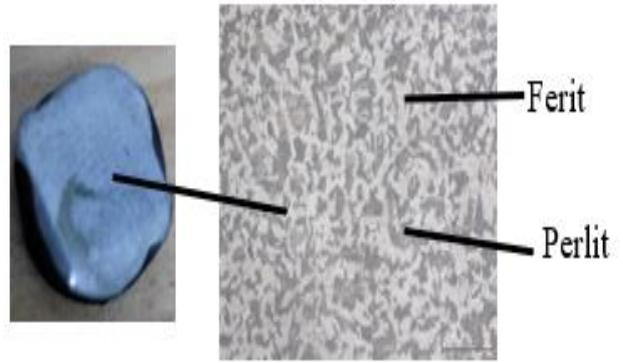
Pada pengujian metalografi digunakan 6 spesimen yang akan diujikan. Hal tersebut bertujuan untuk mengetahui perbedaan struktur mikro pada setiap variasi desain eksperimen



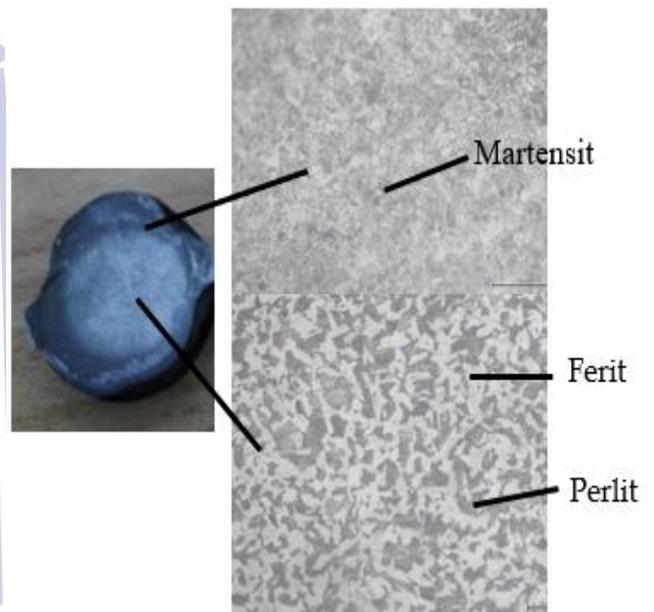
Gambar 9 Struktur Mikro 13mm Tanpa *Tempcore*



Gambar 10. Struktur Mikro 13mm Dengan *Tempcore*



Gambar 11. Struktur Mikro 16mm Tanpa *Tempcore*



Gambar 12. Struktur Mikro 16mm Dengan *Tempcore*

Pembahasan Hasil Penelitian

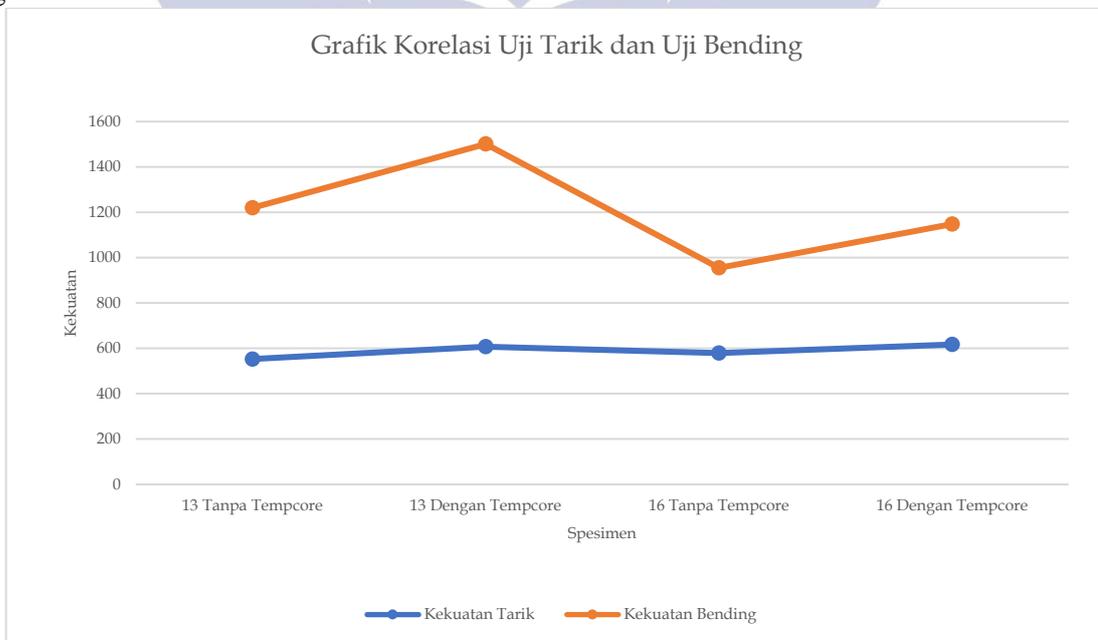
Melalui hasil pengujian di atas terlihat bahwa terdapat perbedaan nilai kekuatan tarik dan nilai kekuatan *bending* yang signifikan pada masing-masing sampel yang disebabkan oleh faktor-faktor berikut:

- Peningkatan nilai kekuatan tarik dan kekuatan *bending* pada material disebabkan oleh perlakuan *tempcore*, hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh (Bandyopadhyay, 2019) yang menyatakan pada proses *tempcore* memberikan pengaruh terhadap sifat mekanik baja tulangan yaitu memberi pengaruh terhadap meningkatnya kekuatan tarik dan ketangguhan material.
- Peningkatan nilai kekuatan tarik dan kekuatan *bending* pada material disebabkan oleh perlakuan *tempcore*, hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh (Khalifa, 2015) yang menyatakan

bahwa kecepatan pendinginan mempengaruhi sifat mekanik dari baja tulangan yaitu meningkatnya kekuatan tarik baja tulangan. Sehingga dapat dilihat dari peningkatan pada hasil pengujian tarik dan *bending* terhadap baja tulangan tanpa *tempcore* dan dengan *tempcore*.

- Spesimen pengujian pada penelitian ini merupakan baja karbon rendah berdasarkan standar SNI 2052 tahun 2017, yaitu baja tulangan menggunakan kelas 420B memiliki kandungan karbon 0,32%.
- Dari hasil penelitian mengenai kekuatan tarik baja tulangan sirip diameter 13mm dan 16mm dengan perlakuan tanpa dan dengan *tempcore*, menunjukkan bahwa hasil pengujian tarik baja tulangan diameter 13mm lebih kecil daripada 16mm karena luas penampang dan massa dari baja tulangan yang berbeda, semakin besar nilai pembilang maka semakin besar nilai kekuatan tarik
- Dari hasil penelitian mengenai kekuatan bending baja tulangan sirip diameter 13mm dan 16mm dengan perlakuan tanpa dan dengan *tempcore*, menunjukkan bahwa hasil pengujian bending baja tulangan diameter 13mm lebih besar daripada 16mm karena luas penampang dan massa dari baja tulangan yang berbeda, semakin besar nilai penyebut maka hasil semakin kecil nilai kekuatan bending.

- Dapat dilihat dari tabel rata-rata kekuatan tarik pada tabel 1 dan kekuatan bending pada tabel 2 dimana hasil dari kekuatan tarik dan kekuatan bending memiliki perbedaan jauh yaitu kekuatan bending lebih tinggi daripada kekuatan tarik. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor sesuai dengan jurnal (Leguillon et al,2015), yaitu
 - Perbedaan arah gaya, pengujian tarik memiliki arah gaya searah dengan benda uji. Sedangkan uji *bending* memiliki arah gaya tegak lurus dengan benda uji
 - Distribusi tegangan, pada pengujian tarik distribusi tegangan merata disepanjang benda uji. Sedangkan pada uji *bending* distribusi tegangan tidak merata yaitu dibagian tengah saja
 - Perilaku deformasi, pada uji tarik, material akan mengalami deformasi plastis secara seragam di sepanjang sumbu material. Sedangkan uji *bending* mengalami deformasi plastis hanya pada bagian tengah saja
- Hasil pengujian bending lebih tinggi daripada hasil pengujian tarik diakibatkan material getas yang memiliki ukuran butir yang lebih kecil memiliki kekuatan bending lebih tinggi daripada kekuatan tarik (Leguillon et al, 2015). Hal ini dapat dilihat pada grafik pada gambar 4.14



Gambar 13. Grafik Korelasi Uji Tarik dan Uji *Bending*

- Pada tabel 1 dicantumkan data regangan dari hasil pengujian tarik. Dapat dilihat pada baja tulangan

diameter 13mm dan 16mm dengan perlakuan tanpa dengan *tempcore* bahwa regangan tertinggi

pada baja tulangan dengan tempcore yaitu sebesar 17,66% pada baja tulangan diameter 13mm dan 17,33% pada baja tulangan diameter 16mm. Sedangkan regangan terendah pada baja tulangan tanpa tempcore yaitu sebesar 17,16% pada baja tulangan diameter 13mm dan 15% pada baja tulangan 16mm. Hal ini sesuai dengan penelitian (Musonda et al, 2019) yaitu proses tempcore adalah proses pemanasan baja tulangan kemudian didinginkan dengan cepat. Proses tempcore menghasilkan struktur mikro yang lebih halus dan dan kecil. Semakin kecil ukuran butir semakin meningkat kekuatan tarik pada baja tulangan. Pada regangan, baja tulangan yang melewati proses tempcore memiliki regangan tinggi akibat dari struktur ferit-perlit pada inti baja tulangan dan martensit pada permukaan, sehingga selain kuat juga memiliki keuletan

- Pembahasan Uji metalografi
- Melalui hasil pengamatan metalografi di atas terlihat bahwa perubahan struktur mikro sejalan dengan hasil pengujian tarik dan ketangguhan pada masing-masing spesimen yang disebabkan oleh faktor-faktor berikut:
- Perbedaan signifikan pada struktur mikro pada baja tulangan tanpa tempcore dan dengan tempcore.
- Pada baja tulangan tanpa perlakuan tempcore fasa yang terbentuk adalah ferit-perlit ditandai dengan bagian yang berwarna putih adalah ferrite dan yang berwarna gelap adalah perlit.
- Pada baja tulangan dengan perlakuan tempcore fasa yang terbentuk adalah martensit dan ferit-perlit dimana pada bagian permukaan terbentuk martensit dan pada bagian inti baja tulangan terbentuk struktur ferit-perlit.
- Struktur martensit terbentuk akibat dari quenching pada serangkaian proses tempcore. Media pendinginan hanya mengenai permukaan baja tulangan kemudian terjadi self-tempering.
- Peningkatan ketangguhan akibat dari pertumbuhan fasa martensit pada permukaan baja tulangan. Peningkatan kekuatan tarik akibat dari pertumbuhan fasa perlit yang seragam dan merata pada inti baja tulangan. Pada penelitian (Khalifa, 2015) menyatakan bahwa kecepatan pendinginan mempengaruhi ketangguhan baja tulangan yang memiliki arti bahwa pertumbuhan fasa martensit terbentuk akibat proses pendinginan cepat.

- Pertumbuhan struktur martensit terjadi akibat dari pendinginan cepat. Pada serangkaian proses tempcore terdapat pendinginan cepat, maka struktur yang terbentuk pada baja tulangan yaitu martensit yang berasal dari transformasi struktur austenit dan ferit-perlit. Hal ini sesuai dengan handbook Callister Materials Science and Engineering dan jurnal milik (Aziz, 2012).

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

- Terdapat pengaruh perlakuan tanpa dan dengan tempcore pada baja tulangan diameter 13mm dan 16mm terhadap nilai uji tarik. Hasil pengujian tarik pada baja tulangan dengan perlakuan tempcore diameter 13mm dan 16mm lebih tinggi daripada baja tulangan diameter 13mm dan 16mm tanpa perlakuan tempcore. Nilai kekuatan tarik pada baja tulangan diameter 13mm tanpa dan dengan perlakuan tempcore yaitu 553 MPa dan 607 MPa, mengalami kenaikan sebesar 9,7% dan nilai kekuatan tarik baja tulangan diameter 16mm adalah tanpa dan dengan perlakuan tempcore yaitu 579 MPa dan 617 Mpa, mengalami kenaikan 6,7%. Melalui penelitian ini dapat disimpulkan bahwa perlakuan tempcore akan meningkatkan kekuatan tarik pada baja tulangan.
- Terdapat pengaruh perlakuan tanpa dan dengan tempcore pada baja tulangan diameter 13mm dan 16mm terhadap nilai uji bending. Hasil pengujian bending pada baja tulangan dengan perlakuan tempcore diameter 13mm dan 16mm lebih tinggi daripada baja tulangan diameter 13mm dan 16mm tanpa perlakuan tempcore. Nilai kekuatan bending pada baja tulangan diameter 13mm tanpa dan dengan perlakuan tempcore yaitu 1.220 MPa dan 1.501 Mpa, mengalami kenaikan 23% dan nilai kekuatan bending pada baja tulangan diameter 16mm tanpa dan dengan perlakuan tempcore yaitu 955 MPa dan 1.148 Mpa, mengalami kenaikan 20%. Melalui penelitian ini dapat disimpulkan bahwa perlakuan tempcore akan meningkatkan kekuatan bending pada baja tulangan.
- Terdapat pengaruh perlakuan tanpa dan dengan tempcore pada baja tulangan diameter 13mm dan 16mm terhadap pengamatan struktur mikro. Melalui pengamatan struktur mikro, perlakuan tanpa tempcore akan menghasilkan struktur ferit-

perlit. Sedangkan pada perlakuan dengan tempcore menghasilkan struktur martensit dan ferit-perlit. Terdapat struktur martensit ini menambah kekuatan tarik pada baja tulangan karena martensit bersifat keras dan getas

- Saran

- Berdasarkan hasil penelitian yang sudah dilakukan, maka terdapat saran sebagai berikut:
- Perlu memperhatikan proses produksi baja tulangan sehingga baja tulangan yang dihasilkan memiliki nilai kekuatan tarik yang sesuai
- Memberikan tanda pada gauge length lebih jelas sehingga dapat menghitung nilai regangan lebih baik
- Pada penelitian berikutnya lebih menambah variasi pengujian yaitu pengujian kekerasan untuk lebih memaksimalkan hasil penelitian
- Diharapkan untuk penelitian selanjutnya yaitu mengubah variasi penelitian pada proses pembuatan baja tulangan agar dapat mengetahui letak masalah pada proses pembuatan baja tulangan yang lebih kompleks

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, M. (2009). *Pendidikan untuk pembangunan nasional: menuju bangsa Indonesia yang mandiri dan berdaya saing tinggi*. Grasindo.
- Adnan, M. S. (2018). ANALISA PERBANDINGAN ANTARA BAJA WIDE FLANGE DENGAN HONEYCOMB PADA EXPANTION FACTORY WAREHOUSE AKHASA WIRA INTERNATIONAL SENGONAGUNG PASURUAN (Doctoral dissertation, Universitas Yudharta).
- Ahmadin, A. (2021). Pengujian Kekerasan Dan Struktur Mikro Plat Baja Karbon Rendah Setelah Proses Pemanasan Dengan Suhu 8000c Di Quenching Bio Solar. *MAJALAH TEKNIK SIMES*, 15(2), 8-14.
- Ahmed, Maruf. (2021). Possible microstructure prediction for medium carbon (1.7%C) and medium alloy steel (>5% alloying element) with 1.5%Mo ,1.4%Ti and 1%Mn (for as cast , annealed and normalized situation).
- American Standard Testing and Material, 1997, Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete, ASTM Committee C-9. West Conshohocken
- Bandanadjaja, B. (2004). Penyeragaman struktur bainit pada besi cor nodular bainitic melalui pengendalian unsur silisium dan tembaga
- Bandyopadhyay, K., Lee, J., Shim, J. H., Hwang, B., & Lee, M. G. (2019). Modeling and experiment on microstructure evolutions and mechanical properties in grade 600 MPa reinforcing steel rebar subjected to TempCore process. *Materials Science and Engineering: A*, 745, 39-52.
- Dieter, George E. 1987. *Metalurgi Mekanik*. Jakarta: Erlangga
- Ding, Hongtao & Shin, Yung. (2012). A Metallo-Thermomechanically Coupled Analysis of Orthogonal Cutting of AISI 1045 Steel. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*.
- Gumilar, A. S., & Walujodjati, E. (2021). Analisis Lentur Balok Beton Dengan Bundel Tulangan. *Jurnal Konstruksi*, 19(1), 303-312.
- Gunjan, V. K., Singh, S. N., Duc-Tan, T., Aponte, G. J. R., & Kumar, A. (Eds.). (2020). *ICRRM 2019-System Reliability, Quality Control, Safety, Maintenance and Management: Applications to Civil, Mechanical and Chemical Engineering*. Springer Singapore.
- Gupta, H. N. (2009). *Manufacturing processes*. NEW AGE INTERNATIONAL (P) LIMITED, PUBLISHERS.
- Handoyo, Y. (2015). Pengaruh *quenching* dan *tempering* pada baja jis grade S45C terhadap sifat mekanis dan struktur mikro crankshaft. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 3(2), 102-115.
- Haryadi, G. D. (2006). Pengaruh suhu tempering terhadap kekerasan, kekuatan tarik dan struktur mikro pada baja K-460. *Rotasi*, 8(2), 1-8.
- Hasbi, Muhammad & Romijarso, Toni & Paristiawan, Permana Andi. (2020). Pengaruh Kecepatan Pendinginan Baja Fasa Ganda Fe-Ni hasil Tempa Panas terhadap Struktur Mikro dan Nilai Kekerasan. *Jurnal Teknologi Bahan dan Barang Teknik*.
- Hung Ta instrument Co., Ltd. Hungta Tensile and Compression Test. (diakses 27 Mei 2023)
- Indonesia, P. R. (2014). Undang-Undang Republik Indonesia nomor 20 tahun 2014 tentang standardisasi dan penilaian kesesuaian.
- Indonesia, S. N. (2017). Baja tulangan beton. *Badan Standarisasi Nasional*.
- Indonesia, S. N. (2017). Cara Uji Lengkung Logam. *Badan Standarisasi Nasional*
- Khalifa, H., Megahed, G. M., Hamouda, R. M., & Taha, M. A. (2016). Experimental investigation and simulation of structure and tensile properties of Tempcore treated rebar. *Journal of Materials Processing Technology*, 230, 244-253.
- Khamid, A. (2011). Rancang bangun alat uji bending dan hasil pengujian untuk bahan besi cor. Fakultas Teknik, Program studi diploma III Teknik Mesin Universitas Diponegoro.

- Kim, M. Y. (2007). A heat transfer model for the analysis of transient heating of the slab in a direct-fired walking beam type reheating furnace. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 50(19-20), 3740-3748.
- Legiso, L., Juniar, H., & Sari, U. M. (2019). Perbandingan Efektivitas Karbon Aktif Sekam Padi Dan Kulit Pisang Kepok Sebagai Adsorben Pada Pengolahan Air Sungai Enim. Prosiding Semnastek.
- Leguillon, D., Martin, É., & Lafarie-Frenot, M. C. (2015). Flexural vs. tensile strength in brittle materials. *Comptes Rendus Mécanique*, 343(4), 275-281.
- Masal, S. B., & Arakarimath, R. R. (2020). Thermal Energy and Failure Study of Reheating Furnace: Model Development and Simulation. In *ICRRM 2019–System Reliability, Quality Control, Safety, Maintenance and Management: Applications to Civil, Mechanical and Chemical Engineering* (pp. 40-45). Springer Singapore.
- Makhrus, A., & Setyoko, B. (2015). Modifikasi Alat Uji Bending Sistem Mekanik Hidrolik Dan Hasil Pengujian Untuk Bahan Besi Cor (Modification Bending Test Equipment Hydraulic And Mechanical Systems Testing Results For Cast Iron Materials) (Doctoral dissertation, D3 Teknik Mesin Fakultas Teknik).
- Mizhar, S., & Tampubolon, G. B. (2015). Analisa Kekerasa Dan Struktur Mikro Terhadap Variasi Temperatur Tempering Pada Baja Aisi 4140. *MEKANIK: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 1(2).
- Modi, A., Hindolia, D. A., & Sharma, R. (2014). Sequential improvement of quenching-selftempering-thermal-treatment rolling process for a modern manufacturing system—a case study. *International Journal of Innovations in Engineering and Technology*, 4(4), 100-111.
- Mohrni, A. S., & Kembaren, B. H. (2013). Pengaruh Variasi Kecepatan Dan Kuat Arus Terhadap Kekerasan, Tegangan Tarik, Struktur Mikro Baja Karbon Rendah Dengan Elektroda E6013. *Jurnal Rekayasa Mesin Universitas Sriwijaya*, 13(1), 1-8.
- Nair, S. A., Mohandoss, P., Ram, K., Adnan, T., & Pillai, D. R. G. Mechanical Characteristics of Quenched and Self-Tempered (Qst) Steel Reinforcing Bars Used in Concrete Structures. Available at SSRN 4177627.
- Prabhudev, K. H. (1988). Handbook of heat treatment of steels. Tata McGraw-Hill Education.
- Prabir, C. (2004). Characterization of steel reinforcement for RC structures: An overview and related issues” the Indian Concrete Journal.
- Rangkuti, E. M., & Azim, F. (2020). Analisa Hasil Produksi Terhadap Standar Nasional Indonesia (Sni) Pada Pt. Growth Sumatera Industri. *Jurnal Manajemen Dan Akuntansi Medan*, 2(3), 84-89.
- PT Detech Profesional Indonesia. 2020. Pengujian Tarik pada Baja. (diakses tanggal 24 Mei 2023)
- Purboputro, Pramuko & Partono, Patna & Ekaputra, Radix. (2022). The analysis of carbon carburizing of ST 60 steel with 80 mesh due to hardness and microstructure. *JTTM: Jurnal Terapan Teknik Mesin*.
- R. E. Swallman, R. J. Bishop. 1999. Metalurgi Fisik Modern dan Rekayasa Material. Jakarta: Erlangga.
- Sularso, H. Tahara. 1983. Pompa dan Kompresor. Jakarta: PT. Pradnya Paramita
- Sanjaya, Ari. 2018. Perkembangan Infrastruktur di Indonesia. Universitas Udhayana. Bali
- Santoso, M. A. (2021). *Ta: Pengaruh Tempering Pada Temperatur 500 °C Dengan Holding Time 1 Jam terhadap Properti Material White Cast Iron yang Diaplikasikan pada Grinding Ball pada Ball Mill untuk Produksi Semen* (Doctoral Dissertation, Institut Teknologi Nasional).
- Suherman, I. (2016). Analisis teknoekonomi pengembangan pabrik peleburan bijih besi dalam rangka memperkuat industri besi baja di Indonesia. *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, 12(1), 23-44.
- Sumiyanto, S., & Abdunnaser, A. (2015). Pengaruh media pendingin terhadap sifat mekanik dan struktur mikro plat baja karbon ASTM A-36. *Bina teknika*, 11(2), 155-170.
- Vůjtěch, J., Ryjáček, P., Matos, J. C., & Ghafoori, E. (2021). Iron-Based shape memory alloy for strengthening of 113-Year bridge. *Engineering Structures*, 248, 113231.
- Yadi, I. (2016). Analisa Mampu Keras Baja St-60 Dengan Metode Alat Jominy Test (Doctoral dissertation)
- Imran, I., & Simatupang, R. (2010). Pengaruh jenis baja tulangan terhadap perilaku plastifikasi elemen struktur SRPMK. *Jurnal Teknik Sipil*, 6(1), 32-45.
- Suhartono, H. A., & Febriyanti, E. (2019). Uji PROFISIENSI ANTAR LABORATORIUM Uji TARIK BAJA TULANGAN SIRIP. *Majalah Ilmiah Pengkajian Industri*, 13(1), 23-30.
- Suprpto, K. (2010). THE EFFECT OF ADDITION OF FIBER REINFORCED ON CONCRETE WITH PLAIN AND DEFORM REBAR. *Journal of Civil Engineering*, 30(1), 39-51.
- Huda, N. (2019). PENGARUH KUAT ARUS TERHADAP Uji TARIK MATERIAL BAJA KARBON RENDAH MENGGUNAKAN

METAL INERT GAS (MIG). *Ranah Research: Journal of Multidisciplinary Research and Development*, 2(1), 219-229.

Hasibuan, S. A. R. S., Praja, B. A., & Irawati, I. (2022). PREDIKSI KAPASITAS PENAMPANG KOLOM BETON BERTULANG DENGAN VARIASI DIAMETER TULANGAN. *Racic: Rab Construction Research*, 7(1), 36-43.



UNESA

Universitas Negeri Surabaya