

Hariwarsianto, Moga Narayudha *)

Abstract

Concrete structures obtain their strength and load carrying capacity from the compatibility of concrete's compression capacity and steel's tensile strength. When a structure is in service, the concrete compression strength can easily be measured with all kinds of equipment, both non destructive, semi and destructive.

While the methods of analysis concrete in existing buildings is fairly straight forward and widely known, the determination of reinforcement embedded in the concrete is a more complicated matter. Beside the steel's tensile strength, the bar's configuration is very important, since the load carrying capacity is depending on it. One destructive method is to un-mantle the bars and observes and measures the sizes and configuration manually. This will involve not only skilled labor but is time consuming and costly.

One technology to overcome these difficulties is the use of rebar locators. The measuring method is based on the eddy-current principle with pulse-induction. Important data as concrete cover, bar configuration and bar size can be obtained. This paper will discuss the principles of rebar locators, and will include a case study where structural capacity is calculated based on non destructive testing

Keywords: fine aggregates, concrete, compression strength, slump, clay lump's content

Abstrak

Pendahuluan

Di dalam pelaksanaan pekerjaan beton bertulang kemungkinan terjadi penyimpangan terhadap rencana dapat selalu terjadi. Sebagian besar penyimpangan tidak berakibat fatal, dan tidak mempengaruhi kapasitas dukung struktur secara signifikan. Tetapi terkadang kombinasi dari beberapa penyimpangan, atau satu penyimpangan fatal dapat sangat menurunkan kapasitas struktur beton bertulang.

Pengguna bangunan baru akan menyadari hal ini apabila ada tanda-tanda fisik yang dapat diamati secara visual seperti misalnya lendutan atau deformasi elemen struktur, retak atau bahkan runtuhnya sebagian atau keseluruhan bangunan.

Dalam hal ini evaluasi terhadap penyebab kegagalan menjadi sangat penting. Apabila keseluruhan bangunan masih berdiri, dapat pula diadakan rehabilitasi atau perbaikan, tetapi tidak tertutup kemungkinan bahwa bangunan tersebut secara ekonomis menjadi tidak visibel lagi, dan pembongkaran menjadi satu-satunya alternatif.

Penyimpangan yang mungkin terjadi pada sebuah elemen beton dapat dibedakan menjadi: *Pertama*: penyimpangan mutu bahan baik beton maupun tulangan. *Kedua*: penyimpangan dimensi dan konfigurasi baik tulangan maupun beton. *Ketiga*: kerusakan karena usia, penggunaan atau lingkungan.

Untuk dapat menganalisa dan mengevaluasi kegagalan sebuah bangunan, peneliti membutuhkan data-data yang aktual tentang kondisi eksisting. Untuk ini harus dilakukan survei ke lokasi, pendataan dimensi terukur dan pengukuran kualitas bahan.

Penentuan dimensi dan konfigurasi elemen beton relatif mudah, serta dapat dilakukan dengan alat ukur sederhana, teodolit atau waterpas. Penentuan kuat tekan beton, berat jenis serta tingkat resapan dapat dilaksanakan dengan mengambil sampel langsung di lapangan menggunakan *core-drill*. Benda uji berbentuk silinder kemudian dibawa ke Laboratorium, dan diuji untuk mendapatkan sifat fisik dari beton.

Penentuan kuat tarik baja dilakukan dengan metode yang sama, benda uji tulangan di bawa ke Laboratorium, dibentuk spesimen sesuai standar dan di tarik hingga putus. Tegangan leleh dan batas dapat diperoleh langsung. Namun demikian, penentuan konfigurasi tulangan di dalam beton tidak mudah dilaksanakan. Kecuali itu tebal selimut beton juga sangat menentukan kapasitas pemikulan penampang. Untuk mendapatkan data ini dapat digunakan alat *electromagnetic*.

Metoda dan Prinsip Kerja

Prinsip kerja alat *electromagnetic* didasarkan pada pengukuran perubahan medan magnet yang disebabkan oleh tulangan yang tertanam di dalam beton. Medan magnet ditimbulkan oleh sistem muatan listrik dalam coil. Apabila terdapat tulangan dalam medan magnetik tersebut, garis gaya medan magnet akan menyimpang. Penyimpangan ini mengakibatkan perubahan tegangan yang dapat dibaca oleh alat pengukur.

Alat terdiri dari Prober (*search head*) yang berupa coil tunggal atau ganda, sebuah pengukur dan kabel penghubung. Prober diletakkan pada permukaan beton dan pengukur menunjukkan respons perubahan medan magnet secara analog atau digital. Instrumen ini bekerja pada frekuensi 1 kHz sehingga sangat peka terhadap keberadaan besi atau baja yang ada disekitarnya.

*) Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Undip

Alternatif lain adalah menggunakan induksi magnet. Alat ini dapat bekerja dengan frekuensi yang lebih rendah (dibawah 90 Hz). Namun prinsip kerja kedua alat ini sama..

Alat tersebut dapat digunakan untuk:

1. Kontrol kualitas, untuk menentukan ketepatan tebal selimut, penempatan dan ukuran tulangan.
2. Penentuan data elemen konstruksi yang hilang atau tidak ada
3. Penentuan letak tulangan sebelum diadakan core-drilling (pegeboran beton) agar mengurangi risiko pemotongan tulangan
4. Deteksi elemen baja selain tulangan seperti pipa air, sambungan baja dan kabel-kabel listrik.

Jenis-jenis Rebar Locator

Dipasaran terdapat beragam alat deteksi tulangan. Tabel 1 menunjukkan alat-alat terkini serta spesifikasi kemampuannya.

Peralatan yang tersedia sangat bervariasi baik dalam aspek ketelitian maupun harga. Pada dasarnya rebar locator harus cukup ekonomis, karena tidak digunakan secara kontinu. Pada dasarnya ukuran dan cara penggunaan alat juga menentukan mobilitas selama investigasi. (Riley, 2003)

Tabel 1. Jenis-jenis Rebar Locator.

Produsen	Model	Tebal Selimut Max (inch)	Penentuan Diameter
Fisher	M-101	9	tidak
Hilti	Ferrosan FS 10 Steel Reinforcement Detection Sytem	7.1	ya
Hilti	PS 20 Multi-Detector	4	tidak
James Instrument	HR Rebar Locator	10	ya
Proceq	Profometer 5 Rebar Locator (Scanlog Model)	7	ya
Protovale	Covermaster CM9	3.5	ya
Protovale	Covermaster CM42	3.5	ya
Protovale	Rebar Plus	6	tidak
Zircon	MT6	6	tidak



a. Fisher M-101



b. Hilti Ferrosan FS 10



c. James Instrument HR



d. Proceq Profometer 5



e. Provale Covermaster CM9



f. Zircon MT 6

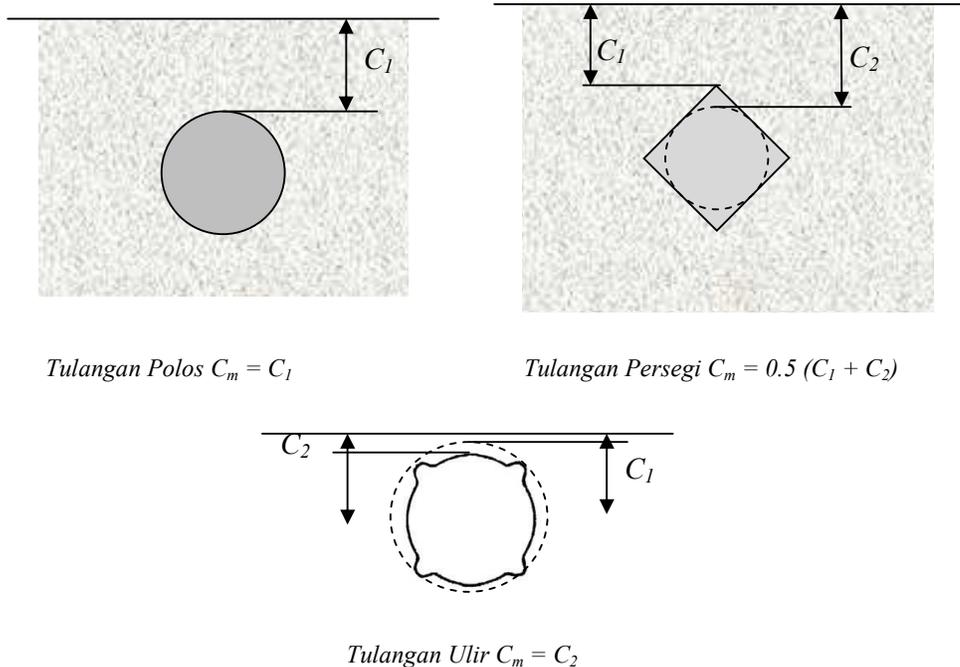
Gambar 1. Jenis-jenis Rebar Locator

Asumsi dan Kalibrasi

Tebal selimut beton.

Berdasarkan *British Standard BS 1881-204:1988 "Testing Concrete, Recommendations on the use of electromagnetic covermeters"* maka selimut beton dibedakan menjadi Selimut beton sesungguhnya (C_1) yang didefinisikan sebagai jarak permukaan beton terluar sampai pada permukaan tulangan yang diamati.

Tebal selimut terbaca (C_m) menunjukkan tebal selimut yang terbaca oleh rebar locator. Pendekatan pembacaan tebal selimut terhadap tebal selimut yg sesungguhnya dapat dilihat dalam Gambar 2. Ketelitian pembacaan sangat tergantung bentuk penampang tulangan yang digunakan.



Gambar 2. Penentuan Tebal Selimut Beton dengan Rebar Locator

Dalam analisa tebal selimut beton harus di konversikan terhadap tebal selimut yang sesungguhnya.

Kalibrasi

Agar diperoleh pengukuran yang tepat, alat harus dikalibrasi. Metoda kalibrasi yang disarankan oleh *British Standard* adalah sebagai berikut.

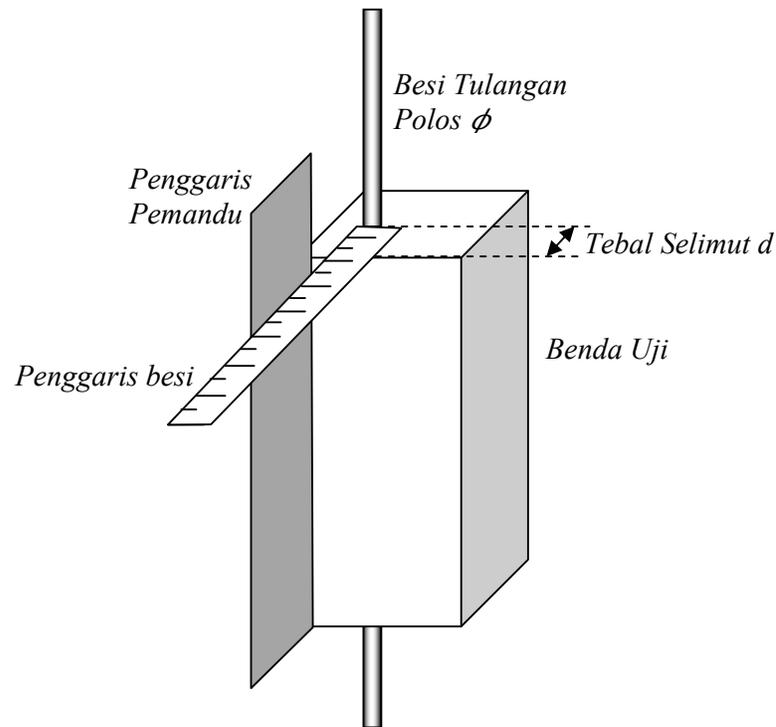
Sebuah benda uji bentuk kubus dibuat dengan sebuah tulangan polos tertanam di dalamnya. Selimut beton harus memenuhi kriteria alat yang digunakan. Permukaan beton harus halus dan rata dengan penyimpa-

ngan maksimum sebesar 0.5 mm dari permukaan rata-rata. Beton terbuat dari semen PC dengan berat jenis sebesar 300 sampai 400 kg/m³ dan agregate kasar maupun halus yang digunakan tidak boleh mengandung biji besi. *Additive* tidak boleh digunakan, dan selama pengecoran batang tulangan harus dijaga agar tidak mengalami perubahan bentuk.

Setelah berusia 28 hari, cetakan dibuka dan selimut beton diukur secara manual dengan ketelitian ± 0.5 mm. Tebal selimut atas dan bawah tidak boleh melebihi 1 mm, dan tebal sesungguhnya diperhitun-

kan sebagai rata-rata dari kedua pengukuran tersebut (Gambar 3). Selimut beton dan diameter pengenalan

kemudian dibaca dengan *Rebar Locator* yang akan dikalibrasikan.



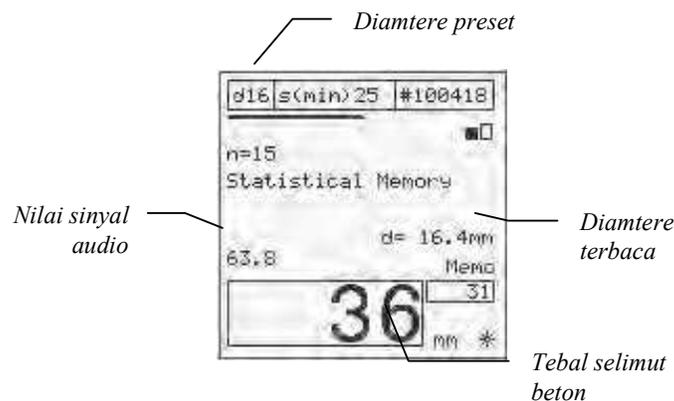
Gambar 3. Metoda Kalibrasi Rebar Locator berdasarkan BS 1881

Cara Kerja

Cara kerja *Rebar Locator* sangat tergantung alat yang digunakan, namun secara umum dapat di gambarkan bahwa prosedur penggunaannya adalah sebagai berikut (Profometer 5⁺).

dengan tulangan dan angka pada layar dibaca. Kecuali pembacaan secara digital alat ini juga memberi respons audio, semakin teliti pembacaan semakin keras bunyi yang dikeluarkan. Selimut beton ditentukan pada pembacaan yang terkecil (Gambar 4) dengan sinyal audio tertinggi.

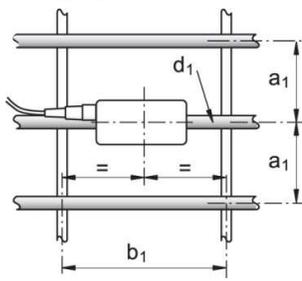
Untuk pembacaan selimut beton alat pengelompokan antara pembesian yang dihubungkan dengan *bindraad* dan dengan las. *Prober* digerakkan searah



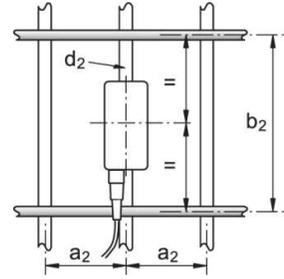
Gambar 4. Layar Pembacaan Profometer 5⁺

Untuk penentuan diameter pengenalan, maka Prober harus digerakkan searah dengan tulangan yang akan

dibaca. Gambar 5 menunjukkan arah gerakan prober untuk tulangan pelat dengan dua lapis pembesian.



Gambar 5a Pembacaan Tulangan lapis 1



Gambar 5b Pembacaan Tulangan lapis 2

Faktor-faktor yang mempengaruhi ketelitian

Hasil pembacaan dari semua *Rebar Locator* sangat dipengaruhi komponen pembentuk struktur yakni beton dan baja tulangan. Kecuali itu pengaruh cuaca, kehandalan operator, getaran dan adanya elemen besi lainnya didalam beton dapat mempengaruhi hasil pengukuran.

Beton. Salah satu faktor utama adalah agregat pembentuk beton. Apabila digunakan pasir besi maka pembacaan dengan *Rebar Locator* akan menyimpang. Ketidak halusan permukaan dapat memberikan gambaran yang kurang tepat, karena *Rebar Locator* hanya dapat mengukur jarak antara permukaan beton terluar sampai pada tulangan. Dengan demikian lapisan penutup, *coating*, *waterproofing* serta penggunaan *additive* pada pembuatan beton harus diketahui.

Tulangan. Setiap alat mempunyai jangkauan ketelitian yang sangat tergantung dari medan magnetik yang dihasilkan *coil*. Dengan demikian jenis besi tulangan dapat mempengaruhi pula kuat lemahnya medan magnet yang dihasilkan. Faktor lain adalah penampang tulangan. Seperti telah tampak terdahulu, *Rebar Locator* hanya sangat teliti untuk besi polos, apabila tulangan berulir atau berbentuk kotak pembacaan merupakan hasil pendekatan.

Efek lain adalah adanya tulangan yang terpasang dalam lebih dari satu baris. Apabila pada sebuah elemen balok atau kolom digunakan tulangan rangkap yang terletak berimpit pada bidang gerak *Prober*, maka kedua lapis tulangan tersebut akan saling mempengaruhi pembacaan.

Study Kasus

Laboratorium Bahan dan Konstruksi, Universitas Diponegoro terlibat dalam Studi kasus yang menyangkut investigasi penulangan pelat, serta penentuan kapasitas elemen struktur tersebut.

Bangunan di Salatiga berupa sebuah Auditorium berlantai II perlu ditentukan konfigurasi penulangan pelat lantainya. Tim dari Laboratorium kemudian terjun untuk meneliti keberadaan pelat serta menentukan kemampuan elemen tersebut (Gambar 6).



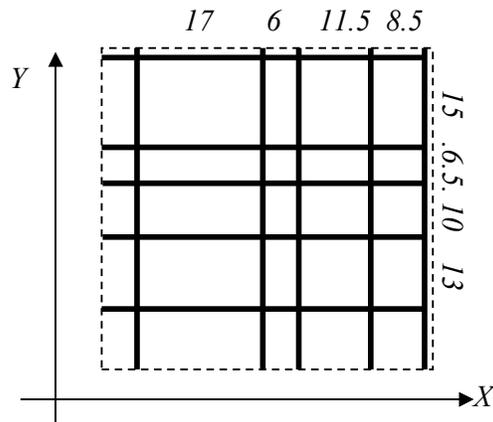
Gambar 6. Pengukuran dengan Profometer



Gambar 7. Pendataan Konfigurasi Tulangan Pelat

Untuk memungkinkan pengukuran, bekisting di bagian bawah pelat seluas 90 x 90 cm dibuka. Deteksi tulangan kemudian digambarkan dengan kapur pada sisi bawah pelat beton untuk memudahkan pendataan (Gambar 7)

Dari pengukuran dilapangan maka didapatkan bahwa diameter pengenal tulangan adalah $\phi 8$. Adapun letak tulangan tampak dalam Gambar 8.



Gambar 8. Hasil Pengukuran di Lapangan (cm)

Dari hasil pengukuran tersebut dapat ditentukan kebutuhan tulangan minimum untuk memikul beban rencana seperti tampak dalam tabel II.

Tabel II. Analisa Kebutuhan Tulangan.

Momen yang terjadi (KNm/m)	Kebutuhan Tulangan (cm ² /m)	Tulangan terpasang (cm ² /m)
$M_x = 0.038 \times 11.30 \times (3.45^2) = 5.11$	3.44	$\phi 8 - 110 = 4.55$
$M_y = 0.020 \times 11.30 \times (3.45^2) = 2.69$	2.24	$\phi 8 - 120 = 4.16$
$M_x = 0.068 \times 11.30 \times (3.45^2) = 9.15$	5.00	$\phi 8 - 80 = 6.25$
$M_y = 0.055 \times 11.30 \times (3.45^2) = 7.39$	4.00	$\phi 8 - 80 = 6.25$

Catatan : beban rencana adalah 11.30 KN/m²
Pelat berukuran 3.45 x 4.5 mm²

Pelat tersebut aman untuk memikul beban rencana.

Kesimpulan dan Saran

Tulisan ini menggambarkan bahwa kemajuan teknologi di bidang investigasi beton telah sangat berkembang. Pengrusakan elemen untuk mengetahui keberadaan tulangan di dalam beton tidak lagi diperlukan, dan dengan menggunakan *Rebar Locator* kita dapat dengan cepat dan cukup akurat mempre-diksi kondisi tulangan yang sudah terbenam dalam beton.

Namun demikian alat-alat pengukur jenis ini memerlukan ketelitian dan kehandalan khusus dalam pengoperasiannya.

Daftar Pustaka

- Bruschini, C, 2008, "*Metal Detectors in Civil Engineering and Humanitarian Demining, Overview and Test of a Commercial Visualizing System*", Éncole Polytechnique Federale De Lausanne, Switzerland.
- BS 1881: Testing Concrete - Part 204: 1988 "*Recommendations on the use of Electromagnetic Covermeters*", The British Standard International (BSI), UK
- BS 1881-205:1986 Testing Concrete. "*Recommendations for Radiography of Concrete*", The British Standard International (BSI), UK
- G. J. Riley, 2003, "*Rebar Locators, How Do They Measure Up?*", Structure Magazine, July/August 2003, USA
- Geotech Engineering and Testing, 2006, "*Forensic Engineering Services*", Houston, USA.
- Indian Railway Institute of Civil Engineering, 2005, "non Destructive Testing of Bridges", Pune 411001, June 2005, India.
- Laboratorium Bahan dan Konstruksi, Fakultas Teknik Undip, 2007-2008, "*Studi Kasus Pada Rekonstruksi Kabupaten Klaten*", "*Studi Kasus pada Pembangunan Masjid Agung Ungaran*", "*Investigasi Struktur pada Gedung UKSW*".
- Profometer 5⁺ Modell S/ Scanlog, 2008, "*Operating Instructions*", Proceq
- REMR (Repair, Evaluation, Maintenance and Rehabilitation) Research Program, 1991, "*System for Detecting Steel Embedded in Concrete*", Technical Note CS-ES-1.9, USA.