2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kode QR

2.1.1 Pengertian QR dan Kegunaan Kode QR

QR adalah singkatan dari "*Quick Response*" yang berarti "respons cepat" dalam bahasa Indonesia. QR adalah jenis kode matriks dua dimensi yang pertama kali dikembangkan oleh Denso Wave di Jepang pada tahun 1994. Kode QR dapat menyimpan informasi dalam format biner, yang dapat diambil dengan cepat menggunakan perangkat pemindaian seperti smartphone dan tablet. Kode QR sebelumnya digunakan dalam kontrol produksi suku cadang otomotif, tetapi telah menyebar luas di bidang lain. (Synthesis Journal, 2008, p.2)

Kegunaan QR yang ada di masyarakat sekarang ini

1. ePay menggunakan ponsel dan kode QR yang tercetak di faktur.
2. Ponsel dan kode QR digunakan untuk membayar tiket kereta api dan layanan udara.
3. Pada beberapa restoran penggunaan QR digunakan untuk menampilkan buku menu
4. Melakukan absensi pada kelas atau perkuliahan

Di negara Jepang dan Korea Selatan memindai kode QR pada paket buah dan sayuran untuk mendapatkan informasi tentang nama pertanian tempat buah dan sayuran ditanam dan dipanen. Pupuk dan pestisida apa yang digunakan. Pemindaian kode QR pada kemasan makanan juga memudahkan konsumen Untuk mengunduh informasi resep. (Synthesis Journal, 2008, p.1)

2.1.2. Struktur dan komponen Kode QR

Kode QR memiliki struktur yang terdiri dari beberapa komponen utama seperti yang terlihat pada gambar 2.1. yang bekerja sama untuk menyimpan dan menampilkan informasi. Bagian utama dari kode QR adalah:

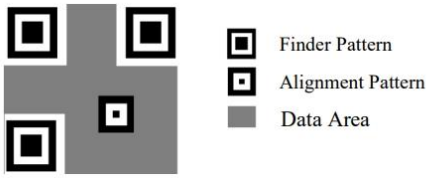
1. Pola Penanda (Finder Patterns):

   Kode QR memiliki tiga pola penandaan yang membantu perangkat pemindaian menentukan orientasi kode. Pola penandaan ini terdiri dari tiga kotak dengan pusat berbeda yang membentuk bentuk "L". Pola penandaan ini selalu ada di 3 sudut kode QR.
2. Pola Posisi Alih (Alignment Patterns):

Kode QR juga memiliki pola pergeseran yang membantu memperbaiki distorsi yang mungkin terjadi selama pemindaian. Pola posisi saklar ini terdiri dari empat kotak yang mengelilingi pola penanda.

3. Pola Penanda Versi (Version Information Pattern):

   Pola penanda versi adalah pola kecil yang menyimpan informasi tentang versi kode QR yang digunakan. Versi ini menentukan ukuran dan jumlah data yang dapat disimpan dalam kode QR.



   Gambar 2.1. Struktur dari Kode QR

   Sumber : Tribak, H., & Zaz, Y. (2017). QR Code Recognition based on Principal Components Analysis Method. International Journal of Advanced Computer Science and Applications, 8.

   Pola ini membantu pemindai untuk menemukan kode QR terlebih dahulu bahkan jika ditempatkan pada tekstur yang kompleks. Pola yang ditimbulkan dapat dikategorikan menjadi dua kategori: Finder pattern (FP) dan Pola penyelarasan (AP). Yang pertama memungkinkan estimasi awal dari posisi QRC, sedangkan yang terakhir digunakan untuk menentukan orientasi dan geometri deformasi QRC. (Tribak, 2017, p. 2)

4. Kotak Pengisi (Quiet Zone):

   Kotak yang diisi adalah area putih yang mengelilingi kode QR. Ini menciptakan ruang yang diperlukan untuk perangkat pemindaian untuk membedakan kode QR dari sekitarnya.

5. Data dan Informasi Error Correction:

   Bagian inti dari kode QR berisi data untuk disimpan. Data ini dapat mencakup teks, angka, URL, atau jenis informasi lainnya. Kode QR juga berisi informasi koreksi kesalahan sehingga dapat dipindai dengan andal meskipun kode terdistorsi atau rusak.

   QRC juga tersedia dalam 40 berbeda versi (bervariasi antara 1 dan 40) serta berbagai modul ukuran (21x21 hingga 177x177). Setiap modul dapat menangani hingga empat tingkat koreksi kesalahan data (L, M, Q dan H). (Tribak, 2017, p. 2)

6. Mode Indikator (Mode Indicator):

Mode indikator menentukan jenis data apa yang disimpan dalam kode QR. Kode QR dapat menyimpan berbagai jenis data, seperti alfanumerik, numerik, byte, dan Kanji (huruf Cina).

Kode QR adalah jenis kode batang 2D yang efisien (standardized by the norm ISO/IEC 18004). Hal ini memungkinkan menyimpan dan membaca file jumlah data penting dari berbagai jenis: hingga 7089 nilai numerik, 4296 karakter alfanumerik, 2953 biner nilai dan 1817 kanji. (Tribak, 2017, p. 2)

7. Pola Penanda Format (Format Information Pattern):

   Pola penanda format menyimpan informasi tentang pengaturan format Kode QR, seperti ukuran data, tingkat koreksi kesalahan, dan mode indikator.

2.1.3. Keunggulan dan Kelemahan Kode QR Dibandingkan dengan Metode Pelaporan dan Dokumentasi Lainnya.

Keunggulan dari penggunaan Kode QR

1. Bisa digunakan dimanapun bermodal smartphone atau tablet

   Sebagian besar ponsel di Jepang yang dilengkapi dengan kamera yang memungkinkan pembacaan Kode QR dapat mengakses Internet alamat secara otomatis hanya dengan membaca URL yang disandikan dalam Kode QR.(Synthesis Journal, 2008, p.2)
2. Data yang diberikan oleh kode QR dapat menunjukkan semua keterangan dan detail pada objek tanpa kita harus mencari gambar detail tersebut.

   Efisiensi Waktu, karena membuat khalayak mendapat informasi yang lebih cepat (Teuku Taufik, 2014).
3. Dapat digunakan oleh siapa saja secara gratis karena Denso salah satu perusahaan grup besar Toyota, dan disetujui sebagai standar internasional ISO (ISO/IEC18004) pada Juni 2000 telah melepaskan hak patennya ke domain publik. (synthesis journal, 2008, p.2)

Kelemahan dari penggunaan Kode QR

1. Ketergantungan perangkat: Perangkat yang kompatibel seperti smartphone atau pemindai kode QR diperlukan untuk membaca kode QR. Bergantung pada lingkungan pengoperasian dan aksesibilitas perangkat, pembacaan kode QR dapat menjadi penghambat kontrol kualitas, terutama jika perangkat tidak selalu tersedia atau memiliki masalah teknis, contohnya spesifikasi kamera yang buruk atau

ketidaktersediaan internet. Kualitas pemindaian bergantung pada ketajaman alat pemindai (Teuku Taufik, 2014).

2. Salah baca: Kode QR mungkin rusak atau berubah bentuk selama proses produksi dan distribusi, sehingga sulit dibaca. Kode QR yang rusak atau cacat mungkin memerlukan tindakan atau perbaikan tambahan dan dapat mempengaruhi efisiensi dan akurasi kontrol kualitas.

2.2 Pekerjaan Pembesian dalam Konstruksi

2.2.1 Pengenalan Pekerjaan Pembesian dalam Proyek Konstruksi

Pekerjaan pembesian adalah proses pemasangan rangkaian tulangan yang ditempatkan secara strategis dalam konstruksi bangunan beton bertulang. Tulangan berfungsi untuk memberikan kekuatan tambahan pada struktur beton, mampu menahan gaya tarik dan tekan yang dibebankan pada bangunan. Pembesian merupakan salah satu tahapan penting dalam konstruksi struktur beton bertulang, karena tulangan merupakan elemen struktur yang memberikan tumpuan dan kekakuan pada bangunan.

Pekerjaan pembesian memiliki fungsi sebagai pemberi kekuatan tarik pada struktur beton. Beton memiliki karakteristik kuat secara tekan namun lemah pada kekuatan tarik. Penanaman struktur tulangan pada beton meningkatkan kekuatan struktur secara keseluruhan, memungkinkannya menahan gaya tarik dan mencegah retak pada beton. Pembesian dapat meningkatkan daya dukung struktur beton dan meningkatkan ketahanannya terhadap deformasi. Hal ini memungkinkan konstruksi struktur yang lebih kuat, lebih tahan lama dan lebih aman untuk digunakan. Dalam menahan gaya tarik, beton tidak dapat menahan tanpa mengalami keretakan. Oleh karena itu, beton perlu diberi bantuan kekuatan penulangan untuk meningkatkan kekuatan gaya tarik akibat beban yang timbul dalam suatu sistem. (Budi, 2011).

Besi beton biasanya ditemukan dalam pembangunan gedung, karena material ini sangat umum sehingga mudah didapatkan dan dari segi biaya juga lebih ekonomis dibanding lainnya. Besi beton atau beton bertulang dapat dikatakan sebagai material konstruksi yang utama karena diperuntukkan dalam berbagai bentuk struktur baik besar maupun kecil seperti jembatan, jalan, bendungan, terowongan, bangunan drainase, dan sebagainya. Bangunan gedung bertingkat tinggi, besi beton digunakan dalam pembesian struktur pelat, sloof, kolom, balok, dinding, dan besi poer. (Che,2018). Berdasarkan SNI 2052:2014 tentang Baja Tulangan

Beton, terdapat 2 jenis tulangan beton. Baja tulangan polos (BjTP) dan Baja tulangan sirip (BjTS) atau yang secara luas disebut sebagai baja ulir.

2.2.2 Persyaratan yang Harus Diperhatikan pada Pekerjaan Pembesian

Terdapat beberapa persyaratan yang harus dipenuhi untuk pekerjaan pembesian. Syarat tersebut antara lain persyaratan tulangan baja beton, pemasangan dan penyetelan baja beton, dan selimut beton. Syarat tersebut antara lain :

1. Persyaratan tulangan baja beton (SNI 2052:2002)

Tabel 2.1 Ukuran Baja Tulangan Beton Polos

No.	Penamaan	Diameter nominal (d) (mm)	Luas penampang Nominal (L) (cm^2)	Berat nominal per meter (kg/m)
1.	P.6	6	0,2827	0,222
2.	P.8	8	0,5027	0,395
3.	P.10	10	0,7854	0,617
4.	P.12	12	1,131	0,888
5.	P.14	14	1,539	1,12
6.	P.16	16	2,011	1,58
7.	P.19	19	2,835	2,23
8.	P.22	22	3,801	2,98
9.	P.25	25	4,909	3,85
10.	P.28	28	6,158	4,83
11.	P.32	32	8,042	6,31

Tabel 2.2 Ukuran Baja Tulangan Beton Sirip

No	Pena-maan	Dia-meter nominal (d)	Luas Penam-pang nominal	Dia-meter dalam nominal (d_0)	Tinggi sirip melintang		Jarak sirip melintang (maks)	Lebar rusuk me-manjang (maks)	Berat nominal
					min	maks			
		mm	cm^2	mm	mm	mm	mm	mm	Kg/m
1	S.6	6	0,2827	5,5	0,3	0,6	4,2	4,7	0,222
2	S.8	8	0,5027	7,3	0,4	0,8	5,6	6,3	0,395
3	S.10	10	0,7854	8,9	0,5	1,0	7,0	7,9	0,617
4	S.13	13	1,327	12,0	0,7	1,3	9,1	10,2	1,04
5	S.16	16	2,011	15,0	0,8	1,6	11,2	12,6	4,58
6	S.19	19	2,835	17,8	1,0	1,9	13,3	14,9	2,23
7	S.22	22	3,801	20,7	1,1	2,2	15,4	17,3	2,98
8	S.25	25	4,909	23,6	1,3	2,5	17,5	19,7	3,85
9	S.29	29	6,625	27,2	1,5	2,9	20,3	22,8	5,18
10	S.32	32	8,042	30,2	1,6	3,2	22,4	25,1	6,31
11	S.36	36	10,18	34,0	1,8	3,6	25,2	28,3	7,99
12	S.40	40	12,57	38,0	2,0	4,0	28,0	31,4	9,88
13	S.50	50	19,64	48,0	2,5	5,0	38,0	39,3	17,4

CATATAN Cara menghitung luas penampang nomnal, keliling nominal, berat nominal dan ukuran sirip adalah sebagai berikut:

a) Luas penampang nominal (L)

$$L = \frac{0{,}7854 \times d^2}{100} \quad (cm^2)$$ dibulatkan sampai 4 angka berarti

b) Keliling nominal (K)

K = 0,3142 x d (mm) dibulatkan sampai 1 angka desimal

c) Berat = 0,785 x L (kg/m) dibulatkan sampai 3 angka berarti

d) Jarak sirip melintang maksimum = 0,70 d dibulatkan sampai 1 angka desimal

e) Tinggi sirip minimum = 0,05 d dibulatkan sampai 1 angka desimal
Tinggi sirip maksimum = 0,10 d dibulatkan sampai 1 angka desimal

f) Jumlah berat rusuk maksimum = 0,25 K dibulatkan sampai 1 angka desimal

Tabel 2.3 Toleransi Diameter Tulangan

No	Diameter (d) (mm)	Toleransi (mm)	Penyimpangan kebundaran (%)
1	6	± 0,3	Maksimum 70 dari batas toleransi
2	8 ≤ d ≤ 14	± 0,4	
3	16 ≤ d ≤ 25	± 0,5	
4	28 ≤ d ≤ 34	± 0,6	
5	d > 346	± 0,8	

CATATAN
1. Penyimpangan kebundaran adalah perbedaan antara diameter maksimum dan minimum dari hasil pengukuran pada penampang yang sama dari baja tulangan beton
2. Untuk baja tulangan beton sirip, d = diameter dalam

Tabel 2.4 Tabel Sifat Mekanis Tulangan

Kelas baja tulangan	Nomor batang uji	Uji tarik			Uji lengkung	
		Batas ulur kgf/mm^2 (N/mm^2)	Kuat tarik kgf/mm^2 (N/mm^2)	Regangan (%)	Sudut lengkung	Diameter pelengkung
BjTP 24	No. 2	Minimum 24 (235)	Minimum 39 (380)	20	180^0	3 x d
	No. 3			24		
BjTP 30	No. 2	Minimum 30 (295)	Minimum 45 (440)	18	180^0	d > 16 = 3xd
	No. 3			20		d > 16 = 4xd
BjTP 30	No. 2	Minimum 30 (295)	Minimum 45 (440)	10	180^0	d ≤ 16 = 3xd
	No. 3			18		d > 16 = 4xd
BjTP 35	No. 2	Minimum 35 (345)	Minimum 50 (490)	18	180^0	d ≥ 16 = 3xd
	No. 3			20		16<d≤40 = 4xd
						d ≥ 40 = 5xd
BjTP 40	No. 2	Minimum 40 (390)	Minimum 57 (500)	16	180^0	5 x d
	No. 3			18		
BjTP 50	No. 2	Minimum 50 (490)	Minimum 57 (620)	12	180^0	d ≤ 25 = 5xd
	No. 3			14		d > 25 = 6xd

CATATAN
1. Hasil uji lengkung tidak boleh terletak pada sisi luar lengkungan
2. Untuk baja tulangan sirip ≥ S.32 nilai renggang dikurangi 2 %
   Untuk baja tulangan sirip S.40 dan S.50 dikurangi 4 % dari nilai yang tercantum pada tabel 6.
3. 1 kgf/mm^2 = 9,81 N/mm^2

Tabel 2.5 Tabel Toleransi Berat

Tabel 4 Toleransi berat per batang

Diameter nominal (mm)	Toleransi (%)
6 d 8	± 7
10 d 11	± 6
16 d 28	± 5
d 28	± 4

5.3.5.2 Toleransi berat per lot
Toleransi berat per lot baja tulangan beton polos dan sirip ditetapkan seperti tercantum dalam Tabel 5

Tabel 5 Toleransi berat per lot

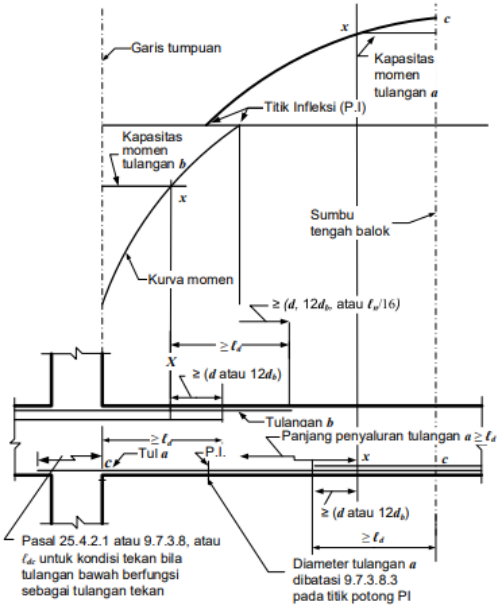
Diameter nominal (mm)	Toleransi (%)
6 ≤ d ≤ 8	± 6
10 ≤ d ≤ 11	± 5
16 ≤ d ≤ 28	± 4
d ≤ 28	± 3,5

Tabel 2.6 Tabel Tanda Kelas Baja Tulangan Beton

Kelas baja		Warna
BjTP 24		Hitam
BjTP 30	BjTS 30	biru
	BjTS 35	merah
	BjTS 40	kuning
	BjTS 50	hijau

2. Pemasangan dan penyetelan baja beton

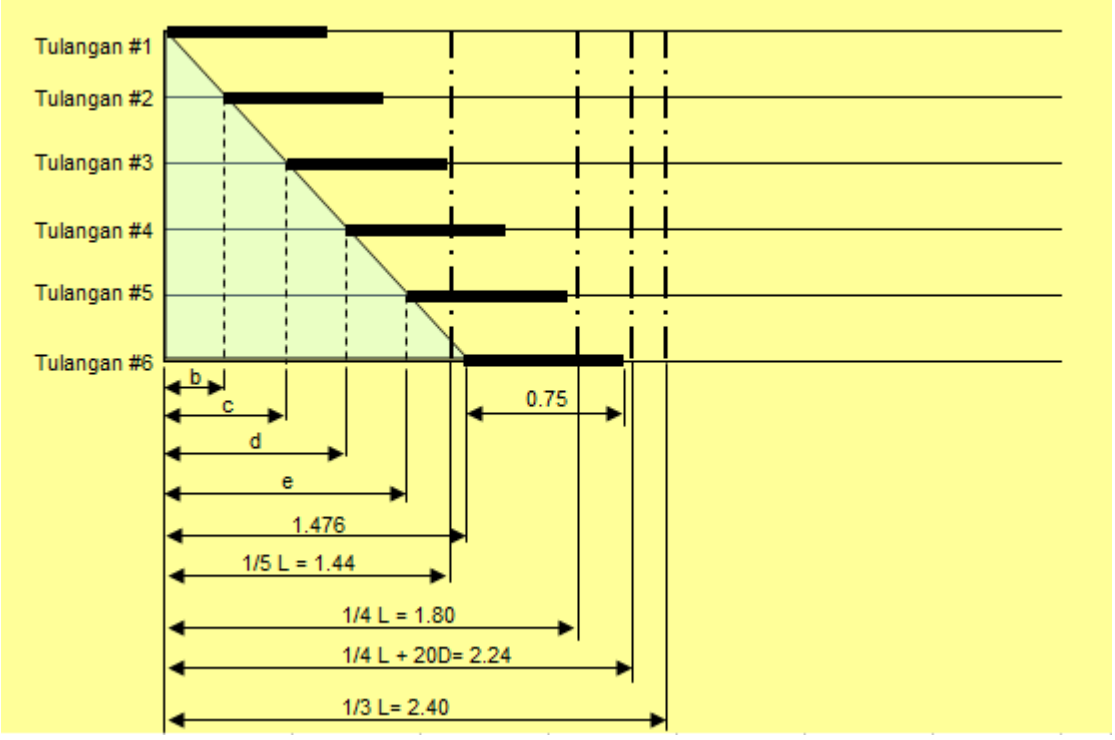
   a. Detail penulangan dan persyaratan untuk pembesian balok (SNI 2847:2019 pasal 9)



Gambar 2.2 Penyaluran Tulangan Lentur Dalam Balok Menerus yang Tipikal

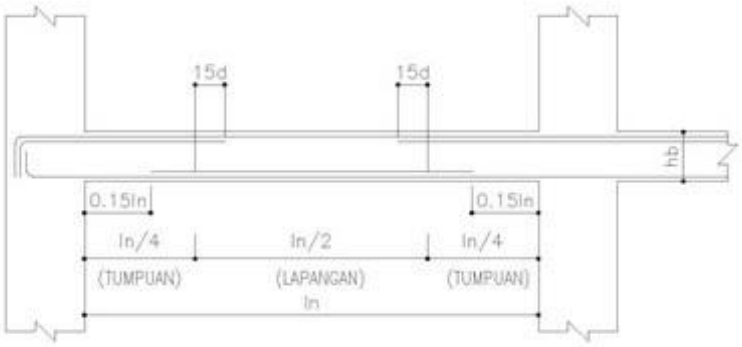
Tulangan harus diteruskan melewati titik dimana tulangan tersebut tidak lagi diperlukan untuk menahan lentur dengan jarak setidaknya yang terbesar dari d dan 12db, kecuali pada tumpuan sederhana dan kantilever seperti yang terlihat pada gambar 2.8 (SNI 2847:2019 9.7.3.3). Tulangan tarik lentur tidak boleh dihentikan pada area tarik. Pada tumpuan sederhana minimal sepertiga tulangan momen positif maksimum harus diteruskan sepanjang bawah balok sampai tumpuan sedangkan untuk tumpuan lain, penulangan harus diteruskan minimal seperempat dari tulangan momen positif maksimum dan diteruskan sepanjang bawah balok sekurang-kurangnya 150 mm. Umumnya di lapangan digunakan standar ¼ + 20db. Sedangkan menurut Suanda (2011), pendekatan berbeda terkait syarat ⅓ L, ¼ L + 20 db, ¼ L, dan ⅕ L hanyalah pedoman praktis untuk mempermudah praktek di lapangan. Pendekatan paling akurat dari

penelitiannya adalah dengan memperhatikan grafik momen menggunakan simulasi pada ETABS seperti terlihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Simulasi Momen Tumpuan Menggunakan ETABS

Pada penerapan syarat pemutusan tulangan tumpuan dengan ukuran ¼ L + 20D digunakan syarat tambahan di mana panjang penyaluran efektif antara tulangan tumpuan dan lapangan minimum sepanjang 15 db dan jarak tulangan lapangan terhadap tumpuan kolom sejauh 0.15 ln seperti terlihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Detail Pemutusan Tulangan Tumpuan dan Lapangan pada Balok

Sedangkan pada SNI 2847:2019 setidaknya sepertiga tulangan momen negatif pada tumpuan harus memiliki panjang penyaluran melewati titik balik

sekurang-kurangnya terbesar dari d, 12db, dan ℓn/16. Penyaluran tulangan momen positif pada tumpuan diperlukan untuk balok yang merupakan bagian dari sistem penahan beban lateral utama untuk memberikan daktilitas dalam hal momen bolak-balik.

b. Detail penulangan dan persyaratan untuk pembesian pelat

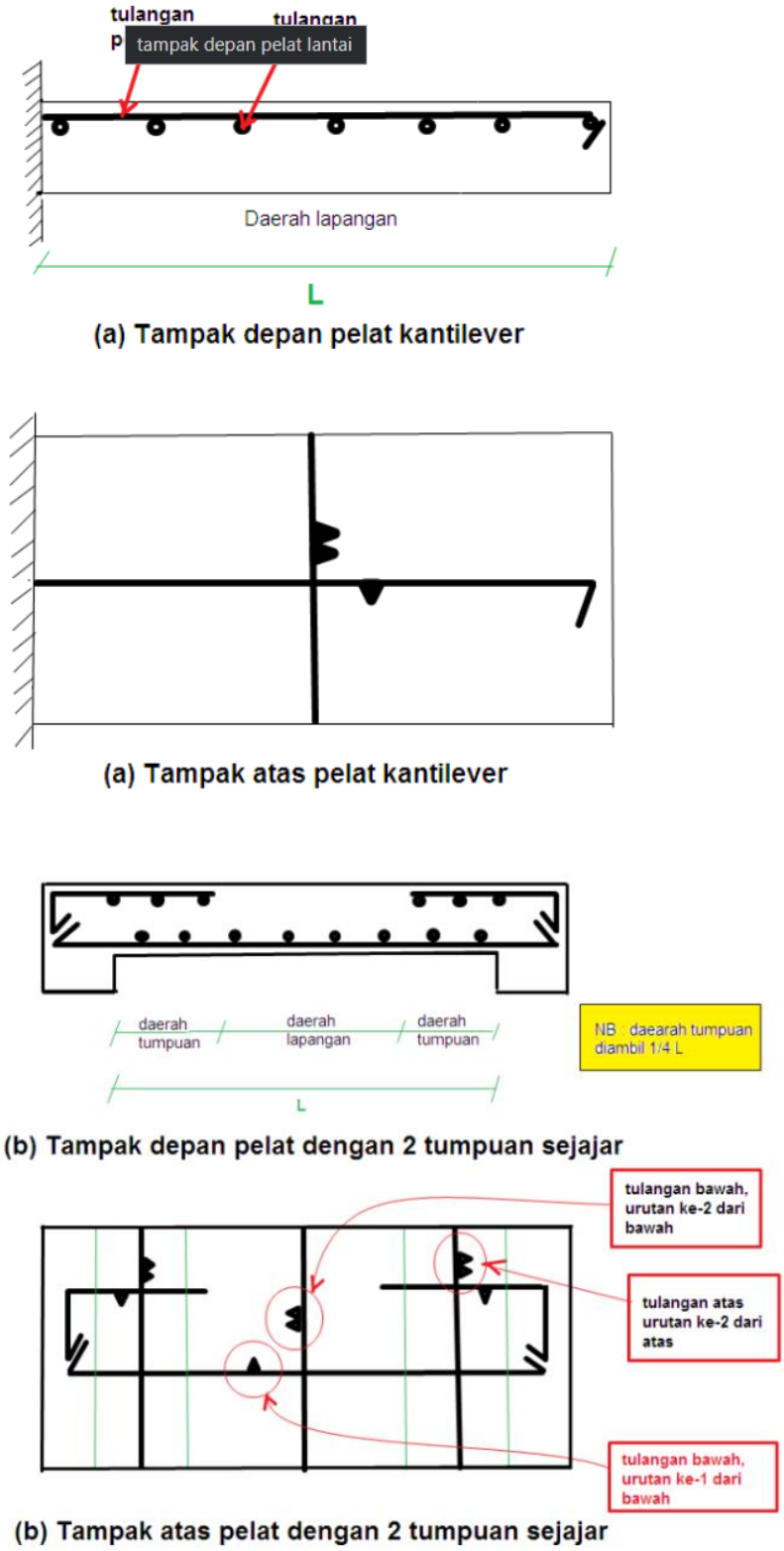
i. Pelat satu arah

Pelat satu arah adalah pelat beton dengan dukungan hanya pada dua sisi tumpuan yang berlawanan, sehingga saat terjadi defleksi, hanya akan bekerja pada arah tegak lurus tumpuan. Hal ini disebabkan tumpuan pelat satu arah bekerja hanya pada dua sisi yang berlawanan, sehingga ketika terjadi pembebanan pada plat beban akan didistribusikan ke arah kedua sisi tumpuan.

Pelat yang bertumpu pada keempat sisi tumpuan, namun rasio panjang terhadap lebarnya lebih besar atau sama dengan 2, maka distribusi bebannya akan lebih banyak terarah ke bentang yang lebih pendek, sehingga pelat tersebut tetap dapat diklasifikasikan sebagai pelat satu arah. Detail urutan penulangan tersebut dapat dilihat pada gambar 2.5.

Jenis pelat satu arah antara lain :

- Pelat balok satu arah : Digunakan pada bentangan 3-6 meter dan dengan beban hidup sebesar 3-5 kN/m2. Jika bentangnya lebih dari 6 meter, maka dapat terjadi defleksi atau lendutan lebih tinggi yang bisa menyebabkan penambahan biaya.
- Pelat berusuk satu arah : Digunakan pada bentangan 6-9 meter dengan beban hidup sebesar 6-9 kN/m2. Volume dari beton dan tulangan relatif lebih rendah namun dibutuhkan bekisting lebih banyak dan memakan biaya lebih.



Gambar 2.5 Detail Penulangan Pelat Satu Arah

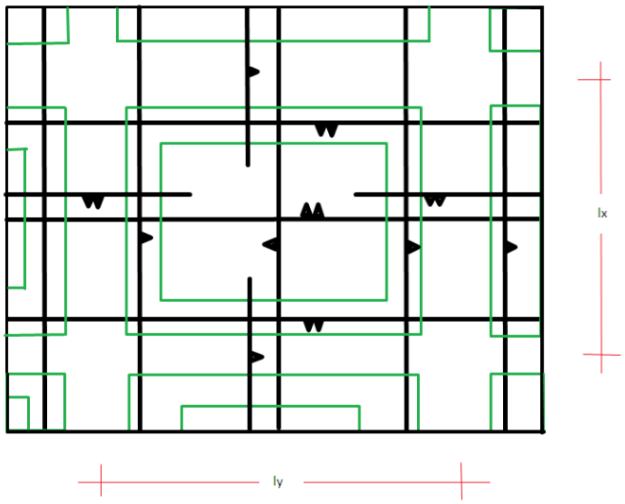
ii. Pelat dua arah

Pelat dua arah ditopang pada semua sisi tumpuan, dengan rasio panjang terhadap lebar kurang dari 2 (L/W < 2). Hal ini karena distribusi beban menuju kedua arah (x dan y). Sehingga, dibutuhkan penulangan pada kedua sisi pelat. Detail tersebut dapat dilihat pada gambar 2.6.

Jenis pelat dua arah antara lain:

- Pelat balok dua arah : Digunakan pada bentangan 6-9 meter dengan beban hidup 2,5-5,5 kN/m2. Beban yang bekerja pada pelat disalurkan pada keempat sisi balok penumpu, kemudian beban disalurkan oleh balok ke kolom.
- Pelat berusuk dua arah : Digunakan pada bentangan 7,5-12 dengan beban hidup 4-7,5 kN/m2. Penerapan pelat waffle digunakan untuk pelat dengan bentang lebar dan beban lebih berat. Pada umumnya, ketebalan pelat jenis ini antara 5-10 cm.
- Pelat datar dua arah : Digunakan pada bentangan 6-9 meter dengan beban hidup 4-7 kN/m2. Pelat ini ditumpu oleh kolom dan panel tanpa balok.
- Pelat lantai dua arah : Digunakan pada bentangan 6-7,5 meter dengan beban hidup 2,5-4,5 kN/m2. Mirip dengan pelat datar dua arah, namun pelat lantai tidak menggunakan panel.

Tampak depan pelat tulangan pokok 2 arah



Tampak atas pelat tulangan pokok 2 arah

Gambar 2.6 Detail Penulangan Pelat Dua Arah

c. Detail penulangan dan persyaratan untuk pembesian kolom

Kolom adalah salah satu komponen struktur vertikal yang secara khusus difungsikan untuk memikul beban aksial tekan (dengan atau tanpa adanya momen lentur) dan memiliki rasio tinggi/panjang terhadap dimensi terkecilnya sebesar 3 atau lebih.

Beberapa pasal utama dari SNI 2847 : 2019 yang menjadi perhatian utama pada pekerjaan pembesian kolom antara lain :

- Jarak antar tulangan memanjang tanpa kekangan lateral maksimal adalah 150mm, apabila lebih maka harus diberikan sengkang ikat (tie), sehingga jarak antar tulangan memanjang yang tak terkekang lateral tidak lebih dari 150 mm
- Pasal 7.10.4, sengkang spiral harus memiliki diameter minimum 10 mm dan jarak bersihnya tidak lebih dari 75 mm, namun tidak kurang dari 25 mm. Untuk penyambungan batang spiral ulir tanpa lapisan dapat digunakan sambungan lewatan sepanjang 48db atau tidak

kurang dari 300 mm. Sedangkan untuk batangspiral polos diambil sepanjang 72db atau 300 mm

- Pasal 7.10.5.1, tulangan sengkang harus memiliki diameter minimum 10 mm untuk mengikat tulangan memanjang dengan diameter 32 mm atau kurang. Sedangkan untuk tulangan memanjang dengan diameter di atas 32 mm harus diikat dengan sengkang berdiameter minimum 13 mm.
- Pasal 7.10.5.2, jarak vertikal sengkang atau sengkang ikat tidak boleh melebihi 16 kali diameter tulangan memanjang, 48 kali diameter sengkang/sengkang ikat, atau dimensi terkecil dari penampang kolom

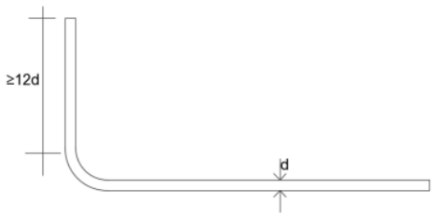
d. Persyaratan umum kait dan sengkang

Pembengkokan tulangan harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:

- Bengkokan 180 derajat ditambah perpanjangan 4d, tetapi tidak kurang dari 60 mm, pada ujung bebas kait seperti pada gambar 2.7.

Gambar 2.7 Pembengkokan Tulangan 180 Derajat

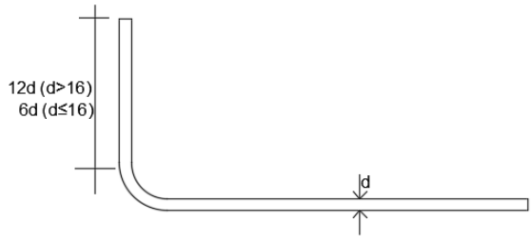
- Bengkokan 90 derajat ditambah perpanjangan 12d pada ujung bebas kait seperti pada gambar 2.8.



Gambar 2.8 Pembengkokan Tulangan 90 Derajat

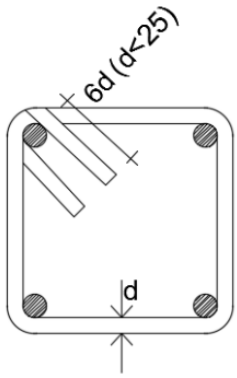
Pembengkokan untuk sengkang dan kait pengikat:

- Batang D-16 dan yang lebih kecil, bengkokan 90 derajat ditambah perpanjangan 6d pada ujung bebas kait.
- Batang D-19, D-22 dan D-25, bengkokan 90 derajat ditambah perpanjangan 12d pada ujung bebas kait. Seperti terlihat pada gambar 2.9.



Gambar 2.9 Pembengkokan Tulangan 90 Derajat pada Kait Pengikat

- Bengkokan 135 derajat untuk batang D-25 dan yang lebih kecil, ditambah perpanjangan 6d, pada ujung bebas kait seperti terlihat pada gambar 2.10.



Gambar 2.10 Pembengkokan Tulangan 135 Derajat pada Sengkang

Diameter Bengkokan Minimum

- Diameter dalam dari bengkokan untuk sengkang dan sengkang ikat tidak boleh kurang dari 4d untuk batang D-16 dan yang lebih kecil. Untuk batang yang lebih besar dari D-16, diameter bengkokan harus memenuhi persyaratan pada tabel 2.7.

Tabel 2.7 Diameter Bengkokan Minimum

Ukuran tulangan	Diameter minimum
D-10 sampai dengan D-25	$6d_b$
D-29, D-32, dan D-36	$8d_b$
D-44 dan D-56	$10d_b$

- Diameter dalam untuk bengkokan jaring kawat baja las (polos atau ulir) yang digunakan untuk sengkang dan sengkang ikat tidak boleh kurang dari 4d untuk kawat ulir yang lebih besar dari D-7 dan 2d untuk kawat lainnya. Bengkokan dengan diameter dalam kurang dari 8d tidak boleh berada kurang dari 4d dari persilangan las yang terdekat.

3. Syarat selimut beton (SNI 2847 :2019)

- Untuk syarat selimut beton pada plat lantai, dinding, balok dan kolom di bedakan menjadi 3 seperti yang dapat dilihat pada tabel 2.8.
    1. Kontak permanen dengan tanah
    2. Terpapar cuaca atau berkontak dengan tanah
    3. Tidak terpapar cuaca atau kontak dengan tanah

Tabel 2.8 Syarat Ketebalan Selimut

Paparan	Komponen struktur	Tulangan	Ketebalan selimut, mm
Terpapar cuaca atau kontak dengan tanah	Dinding	Batang D43 dan D57; tendon dengan diameter lebih besar dari 40 mm	40
		Batang D36 dan yang lebih kecil; Kawat ∅13 dan D13 dan yang lebih kecil; tendon dan *strand* diameter 40 mm dan yang lebih kecil	20
	lainnya	Batang D43 dan D57; tendon lebih besar dari diameter 40	50
		Batang D19 hingga D36; tendon dan *strand* lebih besar dari diameter 16 mm sampai dengan diameter 40 mm	40
		Batang D16, kawat ∅13 atau D13 dan yang lebih kecil; tendon dan *strand* dengan diameter 16 mm atau yang lebih kecil	30
Tidak terpapar cuaca atau kontak dengan tanah	Pelat, pelat berusuk dan dinding	Batang D43 dan D57; tendon dengan diameter lebih besar dari 40 mm	30
		Tendon dan *strand* dengan diameter 40 mm dan yang lebih kecil	20
		Batang D36, kawat ∅13 atau D13 dan yang lebih kecil	16
	Balok, Kolom, pedestal dan batang tarik	Tulangan utama	Lebih besar dari d_b dan 16 dan tidak boleh melebihi 40
		Sengkang, sengkang ikat, spiral dan sengkang pengekang	10

- Untuk tulangan dinding dan plat lantai bila struktur tidak terpapar cuaca dan tanah (ruang tertutup) dan tulangan lebih kecil dari D36 maka bisa menggunakan selimut beton 20mm
- Untuk tulangan balok dan kolom tidak terpapar dengan cuaca atau kontak dengan tanah maka bisa menggunakan selimut beton 40 mm. Tetapi bila terpapar cahaya atau berkontak dengan tanah dan tulangan berdiameter lebih besar 19D maka harus menggunakan selimut beton 50 mm.

2.2.3 Tahapan-tahapan Pekerjaan Pembesian

Menurut Jaya (2022), SOP umum dalam tahapan pekerjaan pembesian adalah sebagai berikut:

1. Pemotongan dan pembengkokan besi beton
    a. Digunakan meja yang dapat menahan beban dan permukaan yang rata
    b. Menggunakan gambar acuan *bar bending schedule* sesuai spesifikasi yang diminta oleh perencana.
    c. Dilakukan pengecekan diameter besi untuk menyesuaikan ukuran mandrel yang tepat. Radius dalam > 2d untuk besi dengan kekuatan rendah dan 3d untuk kekuatan tinggi.
    d. Jika ditemukan kesulitan pada pembengkokan, besi boleh dipanaskan dengan persetujuan dari engineer.
2. Pemasangan besi beton
    a. Besi harus bersih dari kotoran dan minyak
    b. Perletakan tulangan pembesian diatur sedemikian rupa agar ada ruang yang tersedia untuk pemadatan beton
    c. Sambungan pada besi jika diperlukan harus sesuai dengan persyaratan teknis untuk *overlapping*.
    d. Untuk pelat balok dan lantai, pembesian harus dilakukan di atas dudukan dalam bentuk beton decking atau biasa disebut tahu beton. Ketinggian dari beton decking menyesuaikan ketebalan dari selimut beton yang telah direncanakan.
    e. Untuk kolom dan retaining wall, kolom dirakit sesuai cetakan yang disiapkan. Ikatan pada kolom harus sesuai tipe ikatan, agar susunan ini kuat pada pengangkatan. Rakitan kolom diikatkan ke bekisting dengan jarak kurang lebih 1.5 m.

2.2.4 Pemeriksaan, Pelaporan, dan Evaluasi Pelaksanaan Pekerjaan Pembesian.

Proses pemasangan tulangan harus melalui pemeriksaan dan pemantauan yang ketat untuk memastikan tulangan dipasang dengan benar sesuai rencana dan desain. Supervisor dan QC akan memastikan tulangan dipasang pada tempat yang tepat sesuai ukuran dan bebas dari cacat dan kerusakan yang dapat mempengaruhi mutu struktur beton. Menurut Kalvin Che (2018), sukses tidak suksesnya pencapaian tujuan suatu proyek dikendalikan oleh peran pengendalian dan pengawasan. Proyek yang berlangsung pasti ada penyimpangan dari

rencana yang disetujui maka perlunya pengawasan dan pengendalian dalam pelaksanaan. Pengawasan dalam hal ini merupakan usaha yang berkelanjutan dilaksanakan dengan acuan apakah proyek masih berjalan sesuai sesuai dengan yang disepakati. Oleh sebab itu dokumentasi yang akurat sangat diutamakan dalam suatu proyek lapangan yang dikerjakan. Agar *Quality Control* dapat memantau dan mengurangi potensi adanya kesalahan lalu kontraktor dapat segera menindak lanjuti bila ada kejanggalan kejanggalan yang teridentifikasi di lapangan.

2.3 Sistem Pelaporan dan Dokumentasi dalam Pekerjaan Pembesian

2.3.1 Pentingnya Pelaporan dan Dokumentasi yang Efisien dalam Konstruksi

Pelaporan dan dokumentasi yang efisien dalam pekerjaan pembesian merupakan hal yang sangat krusial di dalam industri konstruksi. Pelaporan dan dokumentasi yang efektif akan memberikan manfaat yang signifikan dalam pekerjaan pembesian, termasuk meningkatkan produktivitas, mengurangi risiko, dan memastikan kepatuhan terhadap standar dan regulasi yang berlaku.

Pelaporan dan dokumentasi yang efisien memungkinkan pengumpulan, pengolahan, dan distribusi informasi yang lebih cepat dan tepat. Menurut Wikforss dan Lofgren (2007), peningkatan proses komunikasi proyek dan teknologi pada berbagai tingkatan fungsional dapat mengubah organisasi dari proyek di masa depan dan bagaimana aktivitas dan rutinitas kerja yang telah didesain, direncanakan, dan dikerjakan. Akses *real time* dan mobilitas pada informasi, disertai peningkatan sarana komunikasi serta cara baru untuk mengorganisasi dan mengerjakan pekerjaan kolaboratif akan menjadi komponen penting pada proses pembangunan.

Dokumentasi yang efisien memudahkan berbagi informasi antara berbagai pihak yang terlibat dalam pekerjaan pembesian, seperti arsitek, insinyur, pekerja lapangan, dan manajer proyek. Menurut Koslovzka et al. (2016), manajemen yang baik pada dokumentasi proyek adalah sumber penting dari informasi untuk perencanaan dan manajemen proses konstruksi yang dibutuhkan oleh setiap *stakeholder* proyek (investor, konsultan desain, kontraktor, subkontraktor, supplier, dan konsultan pengawas). Manajemen yang tidak efektif menjadi salah satu alasan terjadinya *overruns,* baik secara waktu dan biaya dan ketidakefisienan pada kualitas konstruksi pada berbagai tingkatan.

Pelaporan yang baik dan dokumentasi yang lengkap memastikan transparansi dalam pelaksanaan proyek konstruksi. Transparansi dan akuntabilitas yang dihasilkan dari pelaporan dan dokumentasi yang efisien dapat meminimalkan potensi praktik korupsi dan

penyalahgunaan dana proyek. Menurut Tabish dan Jha (2012), adanya manajemen, peraturan dan regulasi yang baik, serta pelaporan yang teratur dapat membantu pembuat kebijakan dan pekerja konstruksi dalam melakukan upaya pencegahan terjadinya korupsi pada proyek konstruksi publik karena adanya transparansi di dalam struktur organisasi.

2.3.2. Metode Pelaporan dan Dokumentasi dalam Konstruksi

Dalam suatu proyek konstruksi terdapat berbagai jenis metode pelaporan yang digunakan berdasarkan beberapa jurnal yang ada. Perbandingan antara metode ini peneliti rangkum dalam bentuk tabel 2.9.

Tabel 2.9 Komparasi Metode Pelaporan dan Dokumentasi dalam Konstruksi.

Metode	**Kelebihan**	**Kekurangan**
Catatan kertas dalam bentuk gambar kerja atau memo	• Metode paling umum digunakan. • Catatn yang dibuat dapat dicoret atau ditandai secara langsung oleh pengawas proyek.	• Pelaporan tertulis memiliki batasan karena keahlian dalam penelitian dapat mempengaruhi kualitas dan kejelasan laporan (Liu Et al., 1995). • Jumlah dokumen yang terlalu banyak dapat menyebabkan detail penting tertinggal yang menimbulkan kesulitan perbaikan.
Dokumentasi foto dan video	• Hasil pengamatan dapat dilihat secara visual oleh pihak lain. • Metode ini dapat digunakan sebagai bukti, mengidentifikasi masalah potensial, dan referensi pekerjaan serupa di masa depan.	• Menurut Klein et al (2011), penggunaan foto dan pemrosesan foto di dalam verifikasi ketepatan bangunan, masih memiliki kekurangan akurasi dalam perbandingan tahap-tahap pengerjaan karena tingkat kekompleksan yang berbeda-beda dan bentuk bangunan yang repetitif dapat mempersulit akurasi dalam *crosscheck* komponen bangunan

Metode	Kelebihan	Kekurangan
Building Information Modeling (BIM)	• Metode paling modern saat ini. • Penerapan metode BIM dapat menghemat waktu pemrosesan, biaya dan tenaga kerja yang dibutuhkan (Pantiga dan Soekiman, 2021).	• Kurangnya tenaga ahli. • Kurangnya pengetahuan dan pemahaman aplikasi. • Prosedur operasional yang kompleks. • Aplikasi BIM kurang mampu bekerja maksimal untuk kualitas gambar yang cukup detail. • Kendala komunikasi antar divisi dalam internal organisasi. • Karena banyaknya kendala yang ada ini, Indonesia masih jauh tertinggal dibanding negara lain sehingga implementasi yang ada saat ini belum bisa berjalan maksimal (Telaga,2018).
Kode QR	• Digitalisasi konstruksi yang paling simpel. • Dapat ditempatkan pada berbagai elemen fisik proyek. • Menurut Kim et al. (2021), penggunaan QR di konstruksi memiliki aksesibilitas yang mudah untuk pekerja dan informasi yang dihasilkan mudah dimengerti. • Dengan adanya kemudahan dalam penggunaan, maka kemungkinan *human error* dapat direduksi sehingga mutu yang dihasilkan sesuai spesifikasi.	• Kebutuhan akan konektivitas internet pada penggunaannya. • Kualitas dan pencetakan kode QR berpengaruh pada aksesibilitas pemindaian.

2.3.3 Tantangan dan Masalah yang Dihadapi dalam Proses Pelaporan dan Dokumentasi

Menurut Austin et al. (1995) terdapat kelemahan utama pada penggunaan gambar kerja 2D. Contohnya pada kumpulan gambar 2D, yang menyertakan berbagai detail seperti denah pembalokan dan kolom, elevasi, detail potongan, dan catatan-catatan tambahan, biasanya berhubungan pada lembar gambar yang berbeda untuk bisa memberikan penjelasan desain akhir yang diinginkan dari berbagai sudut pandang. Proses dengan berbagai tahap ini bisa menjadi proses rumit dengan tingkat abstraksi tinggi dan rawan pada kesalahan, terutama pada proyek besar yang punya berbagai macam gambar detail. Isu ini bisa menyebabkan kesalahan pada pekerjaan dan menyebabkan kesulitan untuk mendapatkan informasi yang tepat dan sesuai.

Sebagai tambahan dari informasi desain yang ditunjukkan secara langsung dalam bentuk simbol dan kode pada denah, terdapat berbagai informasi tidak tertulis yang penting untuk disampaikan. Contohnya informasi konstruksi seperti prosedur kerja, jumlah material, perlengkapan, dan peralatan tidak disertakan pada gambar kerja atau lembar gambar lainnya. Faktanya menurut Friedmann et al. (1994), suatu gambar tidak dapat memuat seluruh detail informasi dan catatan. Bahkan panduan spesifikasi, yang terpisah dari penjelasan tertulis yang berfungsi sebagai dokumen tambahan untuk gambar, tidak menyertakan instruksi yang spesifik untuk elemen gambar berbeda dan hanya menggambarkan secara umum. Spesifikasi mendeskripsikan kebutuhan kualitatif untuk hasil produksi, material, dan hasil pekerjaan. Pekerja perlu untuk merujuk kepada panduan, dan mencari melalui informasi umum, bukan kebutuhan spesifik pada struktur tertentu pada gambar. Situasi ini akan menciptakan proses berlarut-larut hanya untuk mendapat informasi yang jelas atau bahkan kesalahan karena metode yang salah.

Jika informasi tertulis tidak tersedia, pengawas lapangan dan mandor perlu memberikan instruksi lisan kepada pekerja. Kemudian pekerja harus mengingat metode kerja ini dan menyelesaikan pekerjaan tersebut. Menurut Reichart (1988), metode ini tidak efektif, karena pekerja ditinggalkan dengan ketidakjelasan dan pertanyaan berbeda ketika mengerjakan pekerjaan, yang menyebabkan mereka dapat membuat asumsi yang tidak tepat.

2.4 Integrasi Kode QR pada Bidang Konstruksi

Kode QR saat ini sangat umum digunakan pada aktivitas sehari-hari seperti pada proses pembayaran, absensi, dan pengganti tautan. Selain pada aktivitas tersebut, Kode QR

telah diintegrasikan pada bidang konstruksi pada berbagai sektor. Penggunaan Kode QR dapat menggantikan sistem *paper-based* yang rawan terjadi kesalahan dan mengurangi aspek penjaminan mutu (Brankley et al., 2023). Integrasi Kode QR pada bidang konstruksi dapat meningkatkan berbagai faktor antara lain manajemen rencana dan desain, reduksi *human error,* aksesibilitas dan komunikasi, pemeliharaan pasca konstruksi, dan peningkatan efisiensi dan produktivitas. Namun perlu diperhatikan bahwa integrasi Kode QR pada pekerjaan pembesian memerlukan perencanaan dan pengaturan format yang tepat agar tujuan awal untuk mempermudah metode tradisional yang sudah ada dapat tercapai.

2.4.1 Penggunaan Kode QR dapat Membantu Melacak Material Pembesian yang Digunakan

Dalam proyek konstruksi, ketepatan material sangat krusial terhadap kekuatan suatu struktur. Ketepatan jenis tulangan antara ulir dan polos serta diameter tulangan yang berbeda akan menghasilkan kekuatan struktur yang berbeda juga. Kesalahan pada instalasi jenis tulangan dapat menyebabkan pembongkaran dan pemasangan ulang yang menyebabkan penambahan biaya dan waktu (Brankley et al, 2023). Menurut CARES (2022), penjaminan mutu pada material pembesian merupakan produk keamanan struktur yang sangat penting. Tujuan utama dari ketepatan pelacakan material pembesian adalah tercapainya rasa percaya diri yang dirasakan oleh semua *stakeholder* terhadap spesifikasi yang telah direncanakan. Contoh penerapan dari pelacakan material adalah pada Emirates Steel yang telah mengadopsi sistem Kode QR yang disusun oleh CARES Cloud. Performa mutu yang digunakan pada tulangan dapat diakses oleh konsumen melalui Kode QR ("Emirates Steel adopts UK Cares Cloud Kode QR system", Oktober 23, 2021).

2.4.2 Penggunaan Kode QR dapat Membantu Identifikasi Ketepatan Ukuran Tulangan yang Digunakan

Pada proses pembesian terhadap berbagai persyaratan umum yang perlu dipenuhi agar tulangan yang terpasang dapat memberikan perkuatan yang diinginkan pada suatu struktur beton bertulang. Kesalahan pada ukuran terpasang dapat menyebabkan kerugian biaya dan waktu karena adanya sambungan yang perlu ditambahkan. Selain itu pada instalasi tulangan yang tidak dapat disambung karena persyaratan tertentu, maka diperlukan fabrikasi ulang yang memakan biaya dan waktu serta menimbulkan limbah tulangan. (Brankley et al., 2023) Dengan adanya identifikasi yang tepat terhadap ukuran, mutu yang diperlukan dapat dicapai serta mengurangi resiko yang ditimbulkan dari kurangnya ukuran tulangan. Menurut

Sabzevar et al. (2023), adanya integrasi QR akan membantu akurasi hasil di lapangan dengan gambar kerja.

2.4.3 Penggunaan Kode QR dapat Mengurangi Terjadinya *Human Error*

Menurut statistik, *human error* menjadi penyebab 70 hingga 90% kegagalan pada konstruksi (Sabzevar et al., 2023). Menurut C. on S. of the C (2013), menginvestigasi bahwa kegagalan pada pekerjaan pembesian terjadi pada lebih dari 400 kasus. Dari investigasi ini, didapatkan kesimpulan bahwa mayoritas kegagalan struktur lebih umum disebabkan oleh *human error* pada pelaksanaan pekerjaan pembesian dibandingkan kesalahan desain. Berdasarkan riset E. Frühwald *et al.* (2007), hanya 10% kegagalan struktur disebabkan oleh desain struktural yang kurang tepat, sedangkan sisanya disebabkan kesalahan pada tahap pelaksanaan. Kesalahan pelaksanaan adalah pelaksanaan yang terjadi pada fabrikasi atau pada proses instalasi. *Human error* adalah penyebab utama ketidakpastian dan hal ini tidak dapat dihindari. Faktanya, *human error* dapat menyebabkan ketidakstabilan pada struktur selama dan setelah fase konstruksi.

2.4.4 Penggunaan Kode QR dapat Mempermudah Akses Rencana Konstruksi (Detail Pekerjaan Pembesian)

Pada proyek bangunan komersil, terdapat berbagai paket gambar pekerjaan yang terdiri dari konstruksi, arsitek, interior, struktural, mekanikal, elektrikal, perpipaan, K3 dan lingkungan sekitar. Gambar dengan tampilan rencana pada proyek konstruksi sangat berguna bagaikan peta jalan yang digunakan pada saat mengemudi. (Sweany et al., 2016). Tampilan rencana memiliki berbagai informasi penting yang digunakan dengan simbol dan kode yang merujuk pada satu detail rencana tambahan. Simbol-simbol ini perlu ditranslasikan oleh pekerja dengan melihat gambar detail lain untuk memahami arti dari kode-kode ini. Proses ini dapat memakan waktu, membingungkan, dan rawan terhadap kesalahan. Menurut Lorenzo et al. (2014), skematisasi QR pada pekerjaan konstruksi dapat membantu proses pelaksanaan karena akses pekerja terhadap dokumentasi dapat ditingkatkan.

2.4.5 Penggunaan Kode QR dapat Mempermudah Akses terhadap Instruksi Instalasi

Pada sistem pelaporan tradisional, banyak hal-hal yang tidak tercantum pada gambar konstruksi namun sangat penting untuk disampaikan. Contohnya prosedur kerja, jumlah material, keamanan kerja, perlengkapan, dan peralatan yang digunakan. Faktanya gambar

kerja tidak dapat mencantumkan semua informasi detail dan catatan-catatan tambahan (Jolly *et al.,* 1953). Pekerja butuh untuk memiliki rujukan pada manual, sebuah dokumen tersendiri, dan mencari informasi umum yang tidak tersedia pada gambar kerja untuk elemen khusus pada pekerjaan. Akibatnya proses ini akan menjadi proses berlarut-larut yang tidak efektif. Menurut Lorenzo et al. (2014), penggunaan Kode QR dapat mempermudah akses komunikasi bagi pekerja di lapangan untuk mendapat informasi yang dibutuhkan dengan lebih cepat.

2.4.6 Penggunaan Kode QR dapat Meningkatkan Kualitas Dokumentasi untuk Pelaporan

Kode QR bisa digunakan untuk mengumpulkan dokumentasi visual dari setiap tahap pekerjaan pembesian. Misalnya dengan instalasi Kode QR pada area tertentu dan menghubungkannya dengan foto atau video yang menunjukkan perkembangan pemasangan dari waktu ke waktu. Selain itu menurut Brankley et al. (2023), dengan pelaporan yang tersusun pada penyimpanan berbasis *cloud* memberikan informasi yang lebih akurat, dapat diandalkan, mudah diakses, dan bisa menjadi penjaminan mutu bagi semua *stakeholder*. Selain itu penggunaan Kode QR berbasis *cloud* dapat meningkatkan sekuritas dokumentasi karena informasi database hanya bisa diakses oleh pihak ketiga.

2.4.7 Penggunaan Kode QR dapat Mempermudah Pemeliharaan Pasca Konstruksi

Penggunaan QR sebagai bagian dari pemeliharaan pasca konstruksi dapat sangat menyederhanakan proses pemeliharaan dan memaksimalkan efisiensi. Dengan melampirkan kode QR ke berbagai komponen dan area kritis struktur, tim pemeliharaan dapat dengan cepat mengakses informasi yang relevan tentang bahan, spesifikasi, petunjuk pemasangan, dan dokumentasi. Menurut Harapanahalli et al.(2018), penggunaan dokumentasi yang tersusun dari Kode QR dapat membantu rekam jejak pada fase pasca konstruksi untuk mengetahui titik-titik krusial pada struktur yang perlu pemeliharaan. Saat tim pemeliharaan memindai kode QR, mereka dapat langsung mengakses rencana konstruksi, video instruksional, dan petunjuk pemeliharaan terkait area tempat mereka bekerja. Hal ini tidak hanya mengurangi waktu yang dibutuhkan untuk mencari informasi, tetapi juga meminimalkan resiko kesalahan karena instruksi yang jelas dan tepat. Selain itu, data pemeliharaan dan perbaikan dapat direkam melalui kode QR, menciptakan riwayat yang berguna untuk mengevaluasi kinerja struktur dari waktu ke waktu. Dengan demikian, penggunaan kode QR dalam pemeliharaan pasca konstruksi memungkinkan efisiensi operasional yang lebih besar dan pemeliharaan yang lebih

efisien, sekaligus mendukung masa pakai dan kualitas optimal dari struktur yang telah dibangun.

2.4.8 Penggunaan Kode QR dapat Membantu Identifikasi Area yang Memerlukan Perbaikan

Karena terjadinya *human error* merupakan hal yang tidak dapat dihindari, pada saat terjadi kesalahan instalasi pada pembesian, kehadiran seorang *engineer* tentunya sangat dibutuhkan di lapangan. Namun kebutuhan adanya *engineer* pada semua jenis konstruksi dan instalasi tentu terlalu berlebihan. Terdapat beragam jenis pekerjaan konstruksi dan instalasi yang tidak membutuhkan tenaga ahli secara khusus (Vasilyev et al, 2019). Contohnya pada pemasangan beton *decking* yang sederhana, terkadang dapat terjadi kesalahan pada ukuran yang kurang tepat atau belum terpasang sebelum mengecor. Kesalahan minor seperti ini meskipun tidak memerlukan tenaga ahli, namun perlu dicatat dan diperbaiki untuk mencapai mutu maksimal. Sehingga adanya pencatatan *cloud-based* menggunakan QR bisa membantu identifikasi titik-titik mana saja yang perlu diperbaiki dan diinspeksi ulang sebelum akhirnya pengecoran dapat dilaksanakan.

2.4.9 Penggunaan Kode QR dapat Membantu Pemantauan Progres Pekerjaan secara *Real-time*

Kelemahan dari sistem pelaporan dari inspeksi yang ada saat ini adalah pemantauan progres yang memerlukan beberapa tahapan sehingga komunikasi dari lapangan memerlukan waktu untuk diproses pada tahap administrasi. Kebutuhan akan pemantauan progres *real time* menjadi signifikan pada proyek-proyek *as-built* dimana sering terjadi perubahan gambar (Vasilyev et al, 2019). Pada proyek seperti ini komunikasi di lapangan dan konsultan harus berlangsung dengan stabil dan akurat agar tidak terjadi kesalahan pada pelaksanaan yang dapat menimbulkan kerugian. Penggunaan QR dengan penyimpanan *cloud-based* bisa memberikan *update* secara langsung terkait situasi di lapangan langsung menuju admin sehingga pelaporan progres kerja dapat diketahui oleh semua *stakeholder* (Brankley et al., 2023).

2.4.10 Penggunaan Kode QR dapat Membantu Rekam Jejak Suatu Inspeksi yang Telah Dijalankan

Penggunaan *Kode QR* dapat berperan krusial dalam merekam jejak suatu inspeksi yang telah dilakukan dengan lebih efisien dan akurat. Platform digital memiliki fitur-fitur yang dapat

disesuaikan dan berbagai aplikasi yang bisa memberikan rekam jejak dari pekerjaan yang sudah dikerjakan secara *real-time*. (Brankley et al, 2023). Saat inspeksi dilakukan, inspektur lapangan dapat memasang *Kode QR* di area yang hendak dicek atau pada penulangan tertentu yang memiliki persyaratan khusus. Setelah inspeksi selesai, tim inspeksi dapat memindai *Kode QR* tersebut untuk menghubungkan langsung ke laporan inspeksi yang terperinci. Laporan ini bisa mencakup hasil pengukuran, evaluasi kondisi, foto atau video dokumentasi visual, serta catatan temuan atau masalah yang diidentifikasi. Dengan menghubungkan *Kode QR* langsung ke laporan ini, inspektur dapat memastikan bahwa informasi yang dicatat sesuai dengan lokasi yang benar dan dengan format yang standar. Selain itu, data laporan inspeksi ini dapat diakses kembali secara mudah di masa depan untuk evaluasi ulang. Oleh karena itu, penggunaan *Kode QR* dalam merekam jejak inspeksi dapat mengoptimalkan pengarsipan data, memastikan akurasi, dan mempermudah akses terhadap informasi inspeksi yang penting.

2.4.11 Penggunaan Kode QR dapat Meningkatkan Efisiensi Waktu Pekerjaan Inspeksi

Penggunaan Kode QR memiliki potensi besar untuk secara signifikan meningkatkan efisiensi dalam pekerjaan inspeksi. Dengan instalasi Kode QR pada lokasi yang akan diinspeksi atau pada komponen yang perlu diperiksa, tim inspeksi dapat dengan cepat memindai kode tersebut menggunakan perangkat seperti smartphone atau tablet. Kode QR ini dapat langsung mengarahkan inspektur ke informasi yang relevan, termasuk rencana konstruksi, panduan pemasangan, dan dokumentasi visual terkait. Dengan akses yang instan ini, inspektur tidak perlu lagi mencari atau mengumpulkan informasi manual, yang dapat menghemat waktu yang berharga dalam persiapan sebelum inspeksi. Menurut Brankley et al. (2023), dengan digitalisasi informasi dan aksesibilitas, proses dapat berjalan dengan lebih cepat karena pekerja dapat berfokus melakukan inspeksi di lapangan dibandingkan dengan sistem konvensional di mana fokus pekerja terbagi pada beberapa tahap untuk mendapatkan informasi yang dibutuhkan.

Selain itu, Kode QR juga dapat memberikan kemudahan dalam pencatatan hasil inspeksi. Setelah pemeriksaan selesai, inspektur dapat menggunakan perangkat mereka untuk memindai Kode QR dan langsung mengisi formulir atau laporan inspeksi yang sesuai. Dengan demikian, risiko kesalahan manusia dalam pemindahan data secara manual dapat diminimalkan. Informasi yang terekam melalui Kode QR akan langsung terhubung dengan sistem manajemen proyek atau basis data, mempercepat proses analisis dan tindak lanjut yang diperlukan.

Secara keseluruhan, penggunaan Kode QR dalam pekerjaan inspeksi memberikan keuntungan signifikan dalam hal efisiensi waktu, mengurangi kerumitan administratif, dan memastikan bahwa informasi yang tepat dapat diakses dan direkam secara tepat saat diperlukan.

2.4.12 Penggunaan Kode QR dapat Meningkatkan Produktivitas Kinerja Tim secara Keseluruhan

Penggunaan Kode QR memiliki potensi besar untuk meningkatkan produktivitas kinerja tim secara keseluruhan dengan cara yang efisien dan terukur. Pertama-tama, dengan memasang Kode QR pada berbagai lokasi atau komponen proyek, anggota tim dapat dengan mudah mengakses informasi yang relevan dengan memindai kode tersebut. Informasi seperti rencana konstruksi, panduan pemasangan, dan instruksi operasional dapat diakses dalam hitungan detik, menghindari pemborosan waktu yang sebelumnya digunakan untuk mencari dan mengumpulkan data secara manual.

Selanjutnya, Kode QR memungkinkan akses instan ke data historis dan dokumentasi sepanjang proyek. Anggota tim tidak perlu lagi merujuk ke berkas fisik atau mencari melalui folder digital yang rumit. Kode QR menghubungkan langsung ke dokumentasi visual, laporan inspeksi, dan catatan perbaikan yang berkaitan dengan lokasi atau komponen tertentu. Ini tidak hanya menghemat waktu, tetapi juga membantu dalam pengambilan keputusan yang lebih cepat dan lebih tepat.

Selain itu, penggunaan Kode QR dapat meminimalkan kesalahan manusia dan meningkatkan akurasi pekerjaan. Kode QR menghilangkan kebutuhan untuk memasukkan data secara manual, yang sering kali dapat mengakibatkan kesalahan pengetikan atau kesalahan interpretasi. Dengan data yang dikumpulkan dan disimpan melalui Kode QR, anggota tim dapat memiliki keyakinan yang lebih besar terhadap keakuratan informasi yang mereka gunakan. Berdasarkan riset yang diadakan oleh Causeway Technologies pada 2019, investasi pada solusi digital telah memberikan dampak positif, dari survei terbaru yang telah dilaksanakan. Ditemukan bahwa 54% dari organisasi yang telah menerapkan praktik digital mengalami kenaikan pada produktivitas pekerja, 43% keuntungan bisnis meningkat, dan 56% telah memotong biaya operasional.

Dalam keseluruhan gambaran, penggunaan Kode QR dalam proyek atau operasi memungkinkan tim untuk bekerja lebih cerdas, lebih cepat, dan lebih efisien. Dengan informasi yang mudah diakses, akurasi yang ditingkatkan, dan pengurangan waktu yang terbuang,

produktivitas tim secara keseluruhan dapat meningkat, menghasilkan hasil yang lebih baik dalam waktu yang lebih singkat.

Tabel 2.10 Kegunaan Kode QR dalam Konstruksi dari beberapa literatur

Pernyataan	**Peneliti**					
	Brankley et al. (2023)	**Sabzevar et al, 2023**	**Vasilyev et al. (2019)**	**Harapana halli et al., (2018)**	**Lorenzo et al. (2014)**	**Kim et al. (2021)**
Membantu melacak material pembesian yang digunakan	V					
Membantu identifikasi ketepatan ukuran tulangan yang digunakan	V	V				
Mengurangi terjadinya human error	V	V				
Mempermudah akses rencana konstruksi (detail pekerjaan)	V	V	V	V	V	
Mempermudah akses terhadap instruksi instalasi	V	V		V	V	

Pernyataan	Peneliti					
	Brankley et al. (2023)	**Sabzevar et al, 2023**	**Vasilyev et al. (2019)**	**Harapana halli et al., (2018)**	**Lorenzo et al. (2014)**	**Kim et al. (2021)**
Meningkatkan kualitas dokumentasi untuk pelaporan		V	V	V	V	V
Membantu pemantauan progres pekerjaan secara real-time	V		V		V	V
Mempermudah pemeliharaan pasca konstruksi	V			V		
Membantu identifikasi area yang memerlukan perbaikan			V	V		
Membantu rekam jejak suatu inspeksi yang telah dijalankan			V	V		
Meningkatkan efisiensi waktu pekerjaan inspeksi	V			V		

Pernyataan	Peneliti					
	Brankley et al. (2023)	**Sabzevar et al, 2023**	**Vasilyev et al. (2019)**	**Harapana halli et al., (2018)**	**Lorenzo et al. (2014)**	**Kim et al. (2021)**
Meningkatkan produktivitas kinerja tim secara keseluruhan	V					

2.5. Faktor Hambatan dan Rintangan Penggunaan Kode QR pada Pekerjaan Pembesian

Terlepas dari beberapa faktor yang dapat ditingkatkan dari penggunaan Kode QR pada pekerjaan pembesian, terdapat beberapa kekurangan yang sering dijumpai, salah satu kelemahannya ketergantungannya Kode QR pada sinyal internet. Kelemahan ini tentunya akan menjadi hambatan untuk penggunaan Kode QR pada proyek konstruksi khususnya pada lokasi atau zona-zona yang sulit tercapai oleh sinyal internet. Terlepas dari salah satu kekurangan tersebut ada beberapa kelemahan Kode QR yang lain yang mungkin bisa menjadi kendala saat proses pemantauan progress pekerjaan secara real time. Kelemahan tersebut bisa berupa kualitas dan percetakan Kode QR yang buruk, kurangnya pengetahuan pada penggunaannya, serta kompatibilitas perangkat yang digunakan untuk scan Kode QR. Faktor-faktor tersebut antara lain :

1. Konektivitas internet

   Tidak bisa dipungkiri kendala Kode QR yang mengarah pada penggunaan konten internet akan menjadi hambatan ketika berada di lingkungan yang susah sinyal. Menurut Suryadithia (2013), Koneksi internet yang tidak stabil atau buruk dapat menyebabkan kode QR tidak dapat dipindai dengan benar. Artinya penggunaan kode QR tidak dapat terlepas dari koneksi atau sinyal internet.

2. Kualitas dan Pencetakan

   Kode QR yang rusak, terdistorsi, atau ditempatkan di media yang tidak mendukung pencetakan Kode QR mungkin tidak dapat dibaca dengan baik. Menurut Singh (2016), Jika Kode QR yang tercetak pada produk rusak total selama pengangkutan maka kode tersebut tidak dapat dipindai. Kualitas Kode QR yang buruk merupakan salah satu

faktor yang penting, karena Kode QR yang rusak atau terdistorsi akan menghambat proses pemindaian.

3. Pengetahuan Pengguna

Beberapa pengguna mungkin tidak tahu cara memindai atau menggunakan Kode QR, sehingga perlu ada edukasi. Pelatihan kepada staf yang ada agar dapat menggunakan QR lebih efektif pada pekerjaan pembesian, perlunya beberapa staf terlatih untuk menjadi operator sebagai pembuat formulir atau dokumen elektronik dalam proses input data pada formulir elektronik. Menurut Sukmana (2005), digitalisasi adalah proses media dari bentuk tercetak, audio, maupun video menjadi bentuk digital. Digitalisasi dilakukan untuk membuat arsip dokumen bentuk digital. Digitalisasi memerlukan peralatan seperti komputer, scanner, operator media sumber dan software pendukung. Menurut Universitas Medan Area (2023), meskipun banyak orang memiliki akses ke internet dan menggunakan perangkat digital, beberapa individu mungkin belum memiliki literasi digital yang memadai. Hal ini mencakup kesadaran tentang teknologi digital, penggunaan aplikasi, dan memahami konsep-konsep yang terkait dengan digitalisasi.

4. Kompatibilitas Jenis Kode QR

Terdapat berbagai jenis Kode QR, seperti Kode QR dinamis dan statis, yang mungkin memerlukan perangkat atau aplikasi yang berbeda untuk membacanya. Kekurangan kompatibilitas Quick Response code tidak dapat terbaca oleh semua perangkat seluler. Beberapa perangkat seluler model lama tidak memiliki kamera. Atau tidak memiliki aplikasi pemindai Quick Response Code yang perlu untuk membaca data. (Catatan Digital 2023)