

BAB II Tinjauan Pustaka

II.1. Baja Tulangan

Beton kuat terhadap gaya tekan, namun lemah terhadap gaya tarik. Sedangkan baja memiliki kekuatan yang baik terhadap gaya tarik. Oleh karena itu, beton sering dikombinasikan dengan baja tulangan untuk memaksimalkan kekuatan tarik dan tekan beton sebagai komponen struktural (Bastian, 2018). Menurut SNI 2052:2017, baja tulangan dibagi ke dalam dua jenis, yaitu: Baja Tulangan Beton Polos (BJTP) yang berpenampang bundar dengan permukaan yang rata, dan Baja Tulangan Beton Sirip (BJTS) yang permukaannya memiliki sirip/ulir melintang memanjang untuk meningkatkan daya lekat pada beton. Namun, SNI 2847:2019 menyatakan bahwa penggunaan batang polos hanya diperbolehkan sebagai tulangan spiral untuk tulangan sengkang pada kolom, tulangan sengkang untuk menahan geser dan torsi, atau tulangan pengekang untuk sambungan lewatan.

SNI 2052:2017 menyatakan bahwa panjang baja tulangan beton ditetapkan 10 m dan 12 m. Namun, umumnya baja tulangan diproduksi dengan panjang standar 12 m. Oleh karena itu, jika terdapat struktur dengan panjang melebihi 12 m, maka harus dilakukan sambungan pada tulangannya. Selain itu, panjang baja tulangan dapat dilihat dari segi efisiensi, yang mana bila 1 batang baja tulangan yang panjangnya 12 m digunakan sebagai tulangan untuk beton sepanjang 8 m, maka akan terdapat sisa tulangan sepanjang 4 m. Sisa tulangan tersebut dapat digunakan kembali pada beton dengan diberikan sambungan pada tulangan.

Salah satu hal yang harus dipersiapkan dalam perencanaan kebutuhan baja tulangan adalah *Bar Bending Schedule* (BBS). BBS merupakan metode perencanaan aktivitas pembesian yang memuat informasi mengenai bentuk tulangan, jenis tulangan, panjang tulangan, diameter tulangan, serta jumlah tulangan yang dibutuhkan dalam suatu pekerjaan struktur dalam satuan massa (kg). Adanya pola pemotongan dalam BBS memudahkan dalam meminimalisir sisa material dari hasil pemotongan tulangan, sehingga dapat meningkatkan efisiensi penggunaan material baja (Sinipat dan Beatrix, 2023).

II.2. *Overlapping* Tulangan

Panjang baja tulangan yang diproduksi umumnya dibatasi sepanjang 12 m. Apabila terdapat bentang struktur yang panjangnya melebihi panjang baja tulangan, maka harus dibuat suatu sambungan. *Overlapping* atau tumpang tindih merupakan salah satu cara penyambungan tulangan dengan menyambungkan dua tulangan untuk menjamin kontinuitasnya. Dalam hal ini, panjang *overlapping* disebut dengan panjang lewatan (l_{st}) yang mana besarnya 1,3 kali panjang penyaluran (l_d) untuk kondisi umum atau dapat dipakai sebesar 1 kali panjang penyaluran bila tulangan yang dipakai ≥ 2 kali dari yang dibutuhkan (Deskarta dan Sutapa, 2016). Tabel 2.1 menerangkan bahwa panjang minimum sambungan lewatan untuk kondisi tarik harus diambil berdasarkan persyaratan kelas dan lebih besar dari 300 mm. Sambungan lewatan tulangan ulir dan kawat ulir dalam kondisi tarik harus menggunakan sambungan Kelas B, kecuali sambungan Kelas A diperbolehkan apabila:

- Luas tulangan terpasang paling sedikit dua kali dari luas tulangan yang diperlukan berdasarkan analisis pada keseluruhan panjang sambungan; dan
- Paling banyak hanya setengah dari keseluruhan tulangan disambung di dalam daerah panjang lewatan yang diperlukan

Tabel 2.1. Panjang sambungan lewatan batang ulir dan kawat ulir dalam kondisi tarik

$A_s \text{ terpasang} / A_s \text{ perlu}$ sepanjang sambungan lewatan	Maksimum persentase dari A_s lewatan dalam panjang lewatan yang diperlukan	Tipe sambungan lewatan	l_{st}	
			Terbesar dari	
$\geq 2,0$	50	Kelas A	Terbesar dari	$1,0 l_d$ dan 300 mm
	100	Kelas B	Terbesar dari	$1,3 l_d$ dan 300 mm
$< 2,0$	Semua kelas	Kelas B	dari	300 mm

(Sumber: SNI 2847:2019)

Panjang lewatan yang dibutuhkan harus diperhitungkan untuk menghindari kegagalan sambungan. Kebutuhan panjang lewatan berhubungan dengan panjang penyaluran (l_d) yang bertambah sesuai peningkatan tegangan. Menurut Deskarta (2018), panjang penyaluran (l_d) merupakan panjang minimal tulangan yang tertanam pada beton untuk memberikan kekuatan penjangkaran sebesar kuat leleh tulangan.

SNI 2847:2019 menjelaskan bahwa panjang penyaluran (l_d) dibutuhkan karena adanya kecenderungan batang dengan tegangan yang sangat besar dapat membelah bagian yang tipis pada beton pembungkus. Panjang penyaluran (l_d) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 1. Sedangkan untuk faktor modifikasinya dapat menggunakan nilai-nilai yang tertera pada Tabel 2.2.

$$l_d = \left(\frac{f_y}{1,1\lambda\sqrt{f'_c}} \frac{\psi_t\psi_e\psi_s}{\left(\frac{c_b+K_{tr}}{d_b}\right)} \right) \cdot d_b \quad (1)$$

Keterangan:

l_d = panjang penyaluran (mm)	λ = beton ringan
f_y = kuat leleh tulangan (MPa)	f'_c = kuat tekan beton (MPa)
ψ_t = faktor lokasi tulangan	d_b = diameter tulangan (mm)
ψ_e = faktor pelapis tulangan	c_b = jarak tulangan (mm)
ψ_s = faktor ukuran	K_{tr} = indeks tulangan transversal

Tabel 2.2. Faktor modifikasi untuk panjang penyaluran batang ulir dalam kondisi tarik

Faktor Modifikasi	Kondisi	Faktor
Beton ringan λ	Beton ringan	0,75
	Beton ringan, bila f_{ct} ditentukan	$\lambda = \frac{f_{ct}}{0,56\sqrt{f_{cm}}} \leq 1,0$
	Beton normal	1,0
Epoksi ψ_e	Tulangan dengan pelapis epoksi atau seng dan pelapis ganda epoksi dengan selimut bersih kurang dari $3d_b$ atau spasi kurang dari $6d_b$	1,5

Tabel 2.2. Faktor modifikasi untuk panjang penyaluran batang ulir dalam kondisi tarik (lanjutan)

Faktor Modifikasi	Kondisi	Faktor
ψ_e	Tulangan dengan pelapis epoksi atau seng dan pelapis ganda epoksi dengan kondisi lainnya	1,2
	Tulangan tanpa pelapis atau pelapis seng (galvanis)	1,0
ψ_s	Batang D22 dan yang lebih besar	1,0
	Batang D19 dan yang lebih kecil	0,8
ψ_t	Lebih dari 30 mm beton segar diletakkan di bawah tulangan horizontal	1,3
	Lainnya	1,0

(Sumber: SNI 2847:2019)

SNI 2847:2019 mengakui bahwa saat ini banyak kasus konstruksi praktis yang menggunakan selimut bersamaan dengan tulangan pengaku seperti sengkang, yang menghasilkan nilai pada $(c_b + K_{tr})/d_b$ paling kecil sebesar 1,5. Selain itu, untuk kelompok tulangan D19 dan yang lebih kecil, panjang penyaluran dapat diturunkan hingga 20% dengan menggunakan nilai $\psi_s = 0,8$. Sehingga, persamaan 1 dapat disederhanakan menjadi persamaan yang terdapat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Panjang penyaluran batang ulir dalam kondisi tarik

Spasi dan Selimut	Batang D19 dan yang Lebih Kecil	Batang D22 dan yang Lebih Besar
Spasi bersih batang yang disalurkan atau disambung lewatan tidak kurang dari d_b , selimut beton paling sedikit d_b , dan sengkang atau sengkang ikat sepanjang l_d tidak kurang dari standar minimum atau spasi bersih batang yang disalurkan atau disambung lewatan paling sedikit $2d_b$ dan selimut beton paling sedikit d_b	$\left(\frac{f_y \cdot \psi_t \cdot \psi_e}{2,1 \lambda \cdot \sqrt{f'_c}}\right) \cdot d_b$	$\left(\frac{f_y \cdot \psi_t \cdot \psi_e}{1,7 \lambda \cdot \sqrt{f'_c}}\right) \cdot d_b$

Tabel 2.3. Panjang penyaluran batang ulir dalam kondisi tarik (lanjutan)

Spasi dan Selimut	Batang D19 dan yang Lebih Kecil	Batang D22 dan yang Lebih Besar
Kasus-kasus Lainnya	$\left(\frac{f_y \cdot \psi_t \cdot \psi_e}{1,4 \lambda \cdot \sqrt{f'_{r_c}}}\right) \cdot d_b$	$\left(\frac{f_y \cdot \psi_t \cdot \psi_e}{1,1 \lambda \cdot \sqrt{f'_{r_c}}}\right) \cdot d_b$

(Sumber: SNI 2847:2019)

Studi kegagalan tulangan kait menunjukkan bahwa pecahnya selimut beton pada bidang kaitnya merupakan penyebab utama kegagalan dan pecah tersebut berasal dari dalam kaitnya. Maka dari itu, penambahan kait merupakan fungsi langsung dari diameter tulangan d_b yang memengaruhi besarnya tegangan tekan di dalam kait tersebut. Panjang penyaluran l_{dh} diukur dari penampang kritis sampai ujung luar kait (SNI 2847:2019). Untuk penyaluran tarik (l_{dh}) batang ulir yang diakhiri dengan suatu kait standar, nilai l_{dh} harus diambil terbesar dari:

- $\left(\frac{0,24 \cdot f_y \cdot \psi_e \cdot \psi_c \cdot \psi_r}{\lambda \cdot \sqrt{f'_{r_c}}}\right) \cdot d_b$ (2)
- $8d_b$
- 150 mm

Untuk nilai modifikasi ψ_c dan ψ_r pada Persamaan 2 dapat ditentukan dengan menggunakan nilai yang tertera pada Tabel 2.4. Sedangkan untuk panjang kaitnya dapat dilihat pada Tabel 2.5 dan Tabel 2.6.

Tabel 2.4. Faktor modifikasi untuk panjang penyaluran batang kait dalam kondisi tarik

Faktor Modifikasi	Kondisi	Nilai Faktor
Selimut ψ_c	Untuk batang D36 dan yang lebih kecil dengan tebal selimut samping ≥ 65 mm dan untuk kait 90° dengan tebal selimut pada perpanjangan batang di luar kait ≥ 50 mm	0,7
	Lainnya	1

Tabel 2.4. Faktor modifikasi untuk panjang penyaluran batang kait dalam kondisi tarik (lanjutan)

Faktor Modifikasi	Kondisi	Nilai Faktor
ψ_r	Untuk kait 90° batang D36 dan yang lebih kecil: 1. Dilingkupi sepanjang l_{dh} sengkang ikat atau sengkang yang tegak lurus terhadap l_{dh} pada $s \leq 3d_b$ atau 2. Dilingkupi sepanjang perpanjangan tulangan melewati kait termasuk bengkokan dengan sengkang ikat atau sengkang yang tegak lurus terhadap l_{ext} pada $s \leq 3d_b$	0,8
	Untuk kait 180° D36 dan yang lebih kecil dilingkupi sepanjang l_{dh} dengan sengkang ikat atau sengkang yang tegak lurus terhadap l_{dh} pada $s \leq 3d_b$	0,8
	Lainnya	1

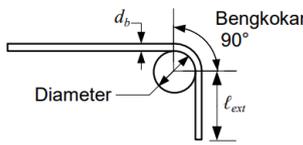
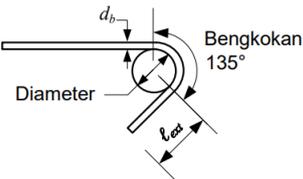
(Sumber: SNI 2847:2019)

Tabel 2.5. Geometri kait standar untuk penyaluran batang ulir kondisi tarik

Tipe Kait Standar	Ukuran Batang	Diameter Sisi Dalam Bengkokan	Perpanjangan Lurus l_{ext} (mm)	Tipe Kait Standar
Kait 90°	D10 hingga D25	$6d_b$	$12d_b$	
	D29 hingga D36	$8d_b$		
	D43 hingga D57	$10d_b$		
Kait 180°	D10 hingga D25	$6d_b$	Terbesar dari $4d_b$ dan 65 mm	
	D29 hingga D36	$8d_b$		
	D43 hingga D57	$10d_b$		

(Sumber: SNI 2847:2019)

Tabel 2.6. Diameter sisi dalam bengkokan minimum kait untuk sengkang

Tipe Kait Standar	Ukuran Batang	Diameter Sisi Dalam Bengkokan	Perpanjangan Lurus l_{ext} (mm)	Tipe Kait Standar
Kait 90°	D10 hingga D16	$4d_b$	Terbesar dari $6d_b$ dan 75 mm	
	D19 hingga D25	$6d_b$	$12d_b$	
Kait 135°	D10 hingga D16	$4d_b$	Terbesar dari $6d_b$ dan 75 mm	
	D19 hingga D25	$6d_b$		

(Sumber: SNI 2847:2019)

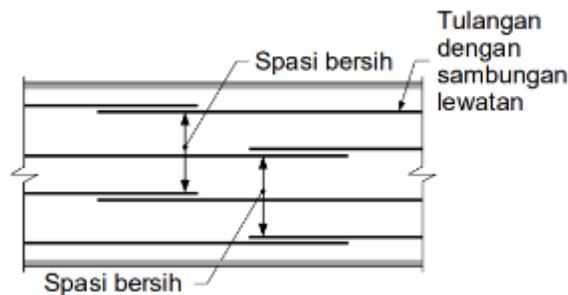
Selain itu, SNI 2847:2019 juga menambahkan untuk batang ulir dan kawat ulir dalam kondisi tarik harus memiliki panjang penyaluran (l_{dc}) yang terbesar antara:

- $\left(\frac{0,24 \cdot f_y \cdot \psi_r}{\lambda \cdot \sqrt{f'_c}}\right) \cdot d_b$ (3)

- $0,043 \cdot f_y \cdot \psi_r \cdot d_b$ (4)

- 200 mm

Persyaratan dari sambungan dua tingkat menyebabkan penyambungan tulangan dipasang pada posisi tegangan minimal dan adanya sambungan lewatan selang-seling untuk meningkatkan detail perilaku kritis. Untuk perhitungan l_d pada sambungan lewatan selang-seling, spasi bersih diambil sebagai jarak minimum antar sambungan lewatan yang berdekatan, seperti yang terlihat pada Gambar 2.1. (SNI 2847:2019).



Gambar 2.1. Spasi bersih tulangan sambungan lewatan untuk sambungan *staggered*

Sumber: SNI 2847-2019

II.3. Building Information Modelling (BIM)

Olawumi dan Chan (2018) menyebutkan bahwa *Building Information Modelling* (BIM) merupakan suatu repositori informasi digital yang memudahkan proses manajemen informasi pada proyek. Proses produksi BIM meliputi geometri bangunan, informasi geografis, hubungan ruang, dan kuantitas serta kualitas komponen bangunan. Setiap siklus hidup bangunan mulai dari konstruksi hingga operasi dapat ditampilkan dengan BIM. Konsep BIM menggambarkan konstruksi secara virtual sebelum konstruksi fisik dimulai, yang bertujuan untuk mengurangi ketidakpastian, menganalisa keadaan, meningkatkan keselamatan, dan menyelesaikan masalah (Nelson dan Sekarsari, 2019). Lebih lanjut, mereka juga menambahkan bahwa penggunaan BIM pada tahap prakonstruksi akan memudahkan kontraktor dan konsultan dalam mengerjakan proyek.

II.3.1. Dimensi BIM

Heryanto, dkk. (2020) menyatakan bahwa dimensi BIM adalah dimensi penggunaan BIM sebagai proses penggambaran secara digital yang meliputi informasi yang dikelompokkan dalam notasi "D" seperti: 3D, 4D, 5D, 6D, dsb. Notasi "D" pada dimensi BIM mencerminkan tujuan yang berbeda dalam industri konstruksi. Implikasi dimensi tersebut dalam proses konstruksi adalah bahwa setiap *stakeholders* dapat memodelkan situasi nyata pada proyek sebelum proyek tersebut berjalan.

Pantiga dan Soekiman (2021) menerangkan bahwa penggunaan BIM memodelkan informasi dalam bentuk 3D yang menyatakan elemen tinggi, panjang, dan lebar yang berbasis pada pemodelan parametrik. Notasi 4D dapat diartikan sebagai 3D + elemen waktu; 5D berarti 4D + elemen estimasi biaya; 6D berarti 5D + elemen keberlanjutan; dan 7D berarti 6D + elemen manajemen fasilitas (Mieslenna dan Wibowo, 2019). Dengan meningkatnya penggunaan BIM, maka perkembangan dimensinya juga semakin beragam, contohnya adalah pada BIM 8D, 9D, dan 10D. Menurut (Centre Line Studio, n.d.) BIM 8D mengintegrasikan tingkat detail yang dibangun, BIM 9D mengintegrasikan konstruksi ramping, dan BIM 10D berkaitan dengan manfaat dari industrialisasi konstruksi.

II.4. Revit

Revit merupakan salah satu *software* pemodelan grafis 3D yang berbasis BIM. Chunaifi (2021) menjelaskan bahwa Revit merupakan *software* yang membantu BIM dalam memodelkan informasi konstruksi gedung, struktur, arsitektur, hingga pada MEP. Revit memungkinkan elemen-elemen dalam model bangunan terhubung secara parametrik. Secara detail, Revit menyediakan tampilan rencana (*plan views*), model 3D, detail diagram, penjadwalan untuk setiap elemen struktur, menyediakan tampilan untuk potongan dalam 2D dan 3D, detail kuantitas, dan *rendering software* untuk tampilan realistik (Reddy dan Singaram, 2019).

Integrasi *software* dengan Revit menjadi lebih mudah, karena kemampuan Revit dalam mendeteksi tabrakan desain dapat membantu meningkatkan efisiensi proses pekerjaan (Marizan, 2019). Sejak awal, Revit bertujuan untuk meningkatkan kemampuan arsitek dan profesional bangunan untuk merancang dan mendokumentasikan bangunan dengan membuat suatu model parametrik. Model tersebut mencakup informasi desain, geometri, dan aspek non-geometris dari konstruksi, yang juga dikenal sebagai Pemodelan Informasi Bangunan (Pamungkas, 2022). Maka dari itu, pembuatan dan perencanaan objek tiga dimensi menggunakan Revit dengan perbandingan panjang, lebar, dan tinggi, serta proses pengeditannya menjadi lebih sederhana dibanding dengan *software* sejenis (Reista, dkk., 2022).

II.5. Bahasa Pemrograman Python

Saat ini telah banyak bahasa pemrograman yang digunakan untuk menjalankan dan mengembangkan suatu aplikasi, contohnya: Java, Visual Basic, C++, C#, Python, HTML, dsb. Python merupakan salah satu bahasa pemrograman yang cukup populer di kalangan *programmer*. Sharma, dkk. (2020) menyebutkan bahwa Python merupakan bahasa pemrograman yang banyak digunakan saat ini, yang mana penambahan atau pengurangan baris kode pada tingkat bacaannya menjadi aspek penting pada bahasa pemrograman ini. Syahrudin dan Kurniawan (2018) menyatakan bahwa Python merupakan bahasa pemrograman interpretatif multiguna dengan fokusnya yaitu pada tingkat keterbacaan kode.

Fitur terpenting dalam Python yakni: mendukung berbagai paradigma pemrograman termasuk imperatif, berorientasi pada objek, dan fungsional pemrograman atau prosedural. Penerjemahan bahasa Python tersedia untuk berbagai sistem operasi. Menurut Suwito (2021), Python merupakan bahasa pemrograman *interpreted*, yang mana program yang dibuat dalam bahasa pemrograman ini dapat dijalankan segera setelah *file* yang berisi *Python codes* selesai dibuat. Hal ini menyebabkan program yang dibuat dengan Python akan lebih mudah diperbaiki bila terdapat kesalahan. Adapun fitur-fitur Bahasa Pemrograman Python menurut Sharma, dkk. (2020), yaitu:

- *Simple*
Python merupakan bahasa pemrograman tingkat tinggi yang mempunyai banyak sumber untuk dipelajari. Python mendukung penggunaan aplikasi pihak ketiga dalam memudahkan penggunaannya.
- *Portable*
Aplikasi dari bahasa pemrograman Python dapat digunakan pada sistem operasi yang berbeda seperti Windows 10, Linux, UNIX, iOS, Mac OS, dsb. Hal ini memungkinkan untuk memindahkan penggunaan aplikasi Python dari satu *platform* ke *platform* lainnya, dan menjalankan program tanpa adanya perubahan.
- *Interpreted Language*
Ketika program dijalankan, Python akan secara otomatis mengonversikan kode menjadi kode yang dapat dimengerti oleh komputer.
- *Object Oriented*
Object Oriented Programming (OOP) membantu menyelesaikan masalah-masalah kompleks secara mudah. Fitur terpenting pada Python adalah *delay binding*, yang mengikat metode dan nama variabel selama kode dieksekusi.

II.6. Konektivitas Revit dengan Python

API atau *Application Programming Interface* merupakan suatu teknologi antarmuka visual yang memungkinkan sistem untuk bertukar informasi dengan sistem lainnya (Ong, dkk., 2015). Menurut Akmal dan Dasprawira (2022), API

dapat dianggap sebagai sekumpulan teknik untuk menciptakan komunikasi antarperangkat lunak yang berbeda. Fungsi dari API adalah memudahkan pengguna dalam membangun *software*. Dalam menghubungkan antara Revit dengan Python, maka dibutuhkan suatu perangkat konektor. Pada penelitian ini, konektor yang digunakan adalah Dynamo BIM.

Dynamo BIM merupakan *platform* pemrograman visual yang dikembangkan untuk memperluas penggunaan BIM pada lingkup data dan logika dari metode grafik konseptual (Asl, dkk., 2015). Dynamo memungkinkan penggabungan skrip yang telah ditentukan (*node*) untuk dihubungkan untuk melakukan operasi khusus dalam lingkungan pemodelan Revit. Selain itu, skrip Dynamo dapat ditulis secara khusus menggunakan Bahasa Pemrograman Python (Thabet, dkk., 2022). Menurut Reinhardt dan Mathews (2017), pengadopsian dan pengimplementasian Dynamo dalam mendukung otomatisasi telah membantu pemahaman mengenai otomatisasi itu sendiri. Kemudahan dalam penggunaan Dynamo memberikan kendali informasi BIM kepada penggunanya.

