PENGARUH VARIASI JARAK TULANGAN SENGKANG SPIRAL TERHADAP KUAT LENTUR BALOK BETON BERTULANG

SKRIPSI

Oleh:

RIRIN VIONICA ARITONANG
17 811 0042

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
2020

PENGARUH VARIASI JARAK TULANGAN SENGKANG SPIRAL TERHADAP KUAT LENTUR BALOK BETON BERTULANG

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat untuk Menyelesaikan
Program Studi Strata Satu (S1) Pada Jurusan Teknik Sipil
Universitas Medan Area

Oleh:

RIRIN VIONICA ARITONANG
17 811 0042

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
2020

PENGARUH VARIASI JARAK TULANGAN SENGKANG SPIRAL TERHADAP KUAT LENTUR BALOK BETON BERTULANG

SKRIPSI

Oleh:

RIRIN VIONICA ARITONANG
17 811 0042

Disetujui:

Pembimbing I	Pembimbing II
Ir. H. Edy Hermanto, MT	Ir. Amsuardiman, MT

Mengetahui:

Dekan Fakultas Teknik	Ka. Program Studi Teknik Sipil
Dr. Grace Yuswita Harahap, ST, MT	Ir. Nurmaidah, MT

LEMBAR PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya susun, sebagai syarat memperoleh gelar serjana merupakan hasil karya tulis saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan skripsi ini yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan ilmiah.

Saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya peroleh dan sanksi-sanksi lainnya dengan peraturan yang berlaku, apabila di kemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.

Medan, Mei 2020

Ririn Vionica Aritonang
17 811 0042

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR/SKRIPSI/TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Medan Area, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ririn Vionica Aritonang

NPM : 178110042

Program Studi : Teknik Sipil

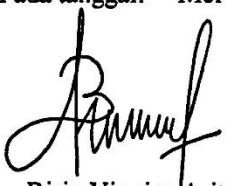
Fakultas : Teknik

Jenis karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul "Pengaruh Variasi Jarak Tulangan Sengkang Spiral Terhadap Kuat Lentur Balok Beton Bertulang" beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.
Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di: Medan

Pada tanggal: Mei 2020



Ririn Vionica Aritonang
17 811 0042

ABSTRAK

Dalam pengembangan teknologi saat ini, beton merupakan salah satu bahan bangunan yang mengalami perkembangan yang sangat pesat pada kontruksi, salah satunya adalah kontruksi balok. Beton bertulang sebagai elemen balok harus diberi penulangan yang berupa penulangan lentur yang dipasang secara horizontal dan penulangan geser yang dipasang secara vertikal terhadap sumbu balok. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi jarak tulangan sengkang spiral terhadap kuat lentur balok beton bertulang. Benda uji yang digunakan balok dimensi 15 × 15 × 60 cm dengan jumlah total 20 sampel, tiap variasi dibuat 5 sampel. Variasi jarak tulangan sengkang spiral adalah tanpa tulangan, 2,5 cm, 5 cm dan 10 cm. Mutu beton rencana digunakan fc 30 MPa. Berdasarkan hasil analisis diketahui bahwa pada beban lentur maksimal sebesar 47,54 kN dan momen lentur maksimal sebesar 3,579 kNm, beban lentur maksimal sebesar 37,8 kN dan momen lentur maksimal sebesar 2,849 kNm, dan momen lentur maksimal sebesar 33,26 kN dan kuat lentur maksimal sebesar 2,508 kNm untuk tiap variasi jarak tulangan sengkang spiral. Berdasarkan uji hipotesis menggunakan metode analisa regresi, persamaan yang didapatkan yaitu Y = 3,749-13,213X. Variasi jarak tulangan sengkang spiral terhadap kuat lentur balok beton bertulang ini tidak memiliki pengaruh signifikan. Pola retak yang terjadi pada seluruh benda uji umumnya pola retak lentur dan mengalami retak vertikal pada 1/3 bagian bentang dari arah tarik balok menuju kedaerah tekan.

Kata kunci: Kuat Lentur, Tulangan Spiral, Balok Beton Bertulang, Regresi Linier.

ABSTRACT

In the development of this current technology, concrete is one of the building materials that is experiencing very rapid development in construction, one of which is beam construction. Reinforced concrete as a beam element must be given reinforcement in the form of flexural reinforcement that mounted horizontally and shear reinforcement that mounted vertically against the axis beam. This study aimed to determine the flexural strength of rectangular reinforced concrete beams by varying the spiral spacing of the concrete. This study aimed to determine the flexural strength of rectangular reinforced concrete beams by varying the spiral spacing of the concrete. Test objects used dimensional beam 15 × 15 × 60 cm with a total of 20 samples, each variation made from 5 samples. The variation in spiral spacing without reinforcement were 2,5 cm, 5 cm and 10 cm. Concrete quality plan used FC 30 MPa. Based on the analysis results noted that at a maximum flex load of 47.54 kN and maximum bending moment of 3.579 kNm, the maximum bending load of 37.8 kN and maximum bending moment of 2.849 kNm, and maximum bending moment of 33.26 kN and A maximum of flexible paces of 2.508 kNm for every variation in the distance of the spiral. Based on the hypothesis test using a regression analysis method, the equation obtained was Y = 3,749 -13, 213X. The variation in the spiral spacing of reinforced concrete beams had no significant effect. The crack pattern that occured on all test objects was generally a bending pattern and subjected to vertical cracks in the 1/3 portion of the beam's pull towards the area of press.

Keywords: Flexural Strength, Spiral Reinforcement, Reinforced Concrete Beams, Linear Regression.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya yang telah diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini yang diberi judul "Pengaruh Variasi Jarak Spiral Terhadap Kuat Lentur Balok"**.**

Penyusunan skripsi ini merupakan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan Strata I (S1) di Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Medan Area.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan tugas akhir ini tidak terlepas dari bimbingan, dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Penulis mengucapkan terima kasih atas segala bantuan, motivasi dan doa yang diberikan hingga penulis dapat menyelesaikan studi di Program Studi Teknik Sipil Universitas Medan Area, terutama kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Dadan Ramdan, M.Eng, M.Sc, selaku Rektor Universitas Medan Area.
2. Ibu Dr. Grace Yuswita Harahap, ST, MT, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Medan Area.
3. Ibu Ir. Nurmaidah, MT, selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Medan Area.
4. Bapak Ir. H.Edy Hermanto, MT, Dosen Pembimbing Skripsi I.
5. Bapak Ir. Amsuardiman, MT, Dosen Pembimbing Skripsi II
6. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Sipil dan Staff Pegawai di Fakultas Teknik Sipil Universitas Medan Area.

7. Ucapan terima kasih saya yang sebesar-besarnya kepada kedua orang tua saya, yang telah memberikan kasih sayang dan dukungan moril maupun materi serta Do'a yang tiada henti untuk penulis.
8. Serta teman-teman seperjuangan stambuk 2017 Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Medan Area, serta semua pihak yang telah banyak membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Semoga Skripsi ini membawa manfaat bagi pengembang ilmu pengetahuan serta masyarakat luas, khusunya di Indonesia, senantiasa dilindungi dan diberikan rahmat kasih sayang oleh Allah SWT kepada kita semua. Aamiin.

Medan, Mei 2020

Penulis

Ririn Vionica Aritonang
178110042

DAFTAR ISI

Halaman

ABSTRAK iii

ABSTRACT iv

KATA PENGANTAR v

DAFTAR ISI vii

DAFTAR TABEL xii

DAFTAR GAMBAR xiv

DAFTAR LAMPIRAN xvi

DAFTAR NOTASI DAN SIMBOL xvii

BAB I PENDAHULUAN 1

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Maksud dan Tujuan 2

1.3 Rumusan Masalah 3

1.4 Batasan Masalah 3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA 4

2.1 Kajian Pustaka 4

2.1.1 Penggunaan Tulangan Pengekang terhadap Ketahanan Geser pada Struktur Beton Bertulang 4

2.2 Beton 4

2.3 Beton Bertulang dan Sejarah Penggunaan Beton Bertulang 6

2.4 Bahan Penyusun Beton 7

2.4.1 Semen 8

2.4.2 Air 11

2.4.3 Agregat 12
a. Agregat Halus 12
b. Agregat Kasar 13
2.5 Balok 14
2.5.1 Balok Beton Tanpa Tulangan 15
2.5.2 Balok Beton dengan Tulangan 17
2.6 Retak pada Balok 17
2.7 Tulangan Geser Balok 19
2.7.1 Retakan pada Balok 19
2.8 Pemasangan Tulangan 20
2.8.1 Pemasangan Tulangan Longitudinal 20
2.8.2 Pemasangan Tulangan Geser 20
2.9 Spiral 21
2.10 Jarak Tulangan pada Balok 22
2.11 Kait Standar 23
2.12 Selimut Beton 23
2.13 Faktor Momen Pikul Maksimum 24
2.14 Beban 25
2.15 Kombinasi Beban 28
2.16 Faktor Reduksi Kekuatan 30
2.17 Material Baja Tulangan 31
2.18 Kuat Lentur Beton Bertulang 33
2.19 Kuat Letur Beton Tanpa Tulangan 36
2.20 Modulus Elastisitas 36

2.21 Analisis dan Desain 37
2.22 Skema Desain Beton Bertulang 38
2.23 Analisa Penampang Tulangan Tunggal pada Balok 42
2.24 Persamaan Regresi Linier Sederhana 50
2.25 Koefisien Determinasi (r^2) 51
BAB III METODOLOGI PENELITIAN 52
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian 52
3.2 Tahap Penelitian 52
3.2.1 Tahap I 52
a. Bahan Pengujian 52
b. Peralatan Pengujian Bahan 53
c. Alat-alat untuk Pembuatan Beton 54
d. Peralatan Pengujian Benda Uji 55
e. Standar Pengujian Bahan 55
3.2.2 Tahap II 56
3.2.3 Tahap III 56
a. Perencanaan Campuran Beton 56
b. Pembuatan Bekisting 68
c. Pemotongan dan Pembengkokan Tulangan 68
d. Pemasangan Tulangan 70
e. Pengecoran Balok Beton 70
f. Pembongkaran Bekisting 71
3.2.4 Tahap IV 71
3.2.5 Tahap V 72

a. Pengujian Kuat Tarik Baja 72
b. Pengujian Kuat Lentur Balok 72
3.2.6 Tahap VI 73
3.2.7 Tahap VII 73
BAB IV PEMBAHASAN DAN HASIL 74
4.1 Hasil Pemeriksaan Bahan 74
4.1.1 Semen 74
4.1.2 Air 74
4.1.3 Agregat Halus 74
a. Modulus Halus Butiran Pasir 74
b. Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus 76
c. Kadar Lumpur 77
4.1.4 Agregat Kasar 78
a. Modulus Halus Butiran Kerikil 78
b. Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar 80
c. Kadar Lumpur 81
4.2 Nilai Slump 82
4.3 Analisa Perhitungan Tulangan 82
4.3.1 Penulangan Geser 83
4.3.2 Penulangan Longitudinal 83
a. Jumlah Tulangan Perbaris 84
b. Penulangan Momen Positif 84
c. Penulangan Momen Negatif 85
d. Momen Rencana 86

4.4 Pengujian Kuat Tarik Baja 88
4.5 Hasil Pengujian Kuat Tekan Silinder 89
4.6 Pengujian Balok..... 90
4.6.1 Hasil Pengujian Beban Lentur Balok Tanpa Tulangan... 90
4.6.2 Hasil Pengujian Beban Lentur Balok Beton Bertulang Lentur Balok 90
4.7 Analisa Perhitungan..... 91
4.7.1 Analisa Perhitungan Kuat Lentur Balok Tanpa Tulangan..... 91
4.7.2 Analisa Perhitungan Momen Lentur Balok Beton Bertulang..... 93
4.8 Analisa Uji Regresi Pengaruh Variasi Tulangan Sengkang Spiral..... 98
4.8.1 Persamaan Regresi Pengaruh Variasi Jarak Tulangan Sengkang Spiral Terhadap Beban Lentur 98
4.8.2 Koefisien Determinasi Pengaruh Variasi Jarak Tulangan Sengkang Spiral Terhadap Beban Lentur 99
4.9 Pembahasan 102
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 104
5.1 Kesimpulan..... 104
5.2 Saran 105
DAFTAR PUSTAKA 106
LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel 2.1 Komposisi Oksida Semen Portland 9

Tabel 2.2 Faktor momen pikul maksimum (K_{maks}) dalam MPa 24

Tabel 2.3 Tulangan Ulir dan Ukurannya 32

Tabel 2.4 Mutu Tulangan Baja SNI 03-6861.2-2002, Spesifikasi Bahan Bangunan dari Besi/Baja 32

Tabel 2.5 Tinggi (h) Minimal Balok Non Pratekan atau Pelat satu arah 38

Tabel 3.1 Faktor Pengali Deviasi Standar 58

Tabel 3.2 Tabel 3.2 Kuat tekan rata-rata perlu jika data tidak ada untuk menetapkan nilai deviasi standard 58

Tabel 3.3 Perkiraan Kuat Tekan Beton (MPa) dengan fas 0,5 61

Tabel 3.4 Persyaratan Nilai fas Maksimum untuk berbagai Pembetonan 62

Tabel 3.5 Penetapan Nilai Slump 63

Tabel 3.6 Perkiraan Kebutuhan Air (liter) Per Meter Kubik Beton 64

Table 4.1 Hasil Pemeriksaan Gradasi Pasir 75

Tabel 4.2 Hasil Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Air Pasir 76

Tabel 4.3 Hasil Pemeriksaan Kadar Lumpur 78

Tabel 4.4 Hasil Pemeriksaan Gradasi Kerikil 79

Tabel 4.5 Hasil Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Air Kerikil 80

Tabel 4.6 Hasil Pemeriksaan Kadar Lumpur Kerikil 81

Tabel 4.7 Hasil Pemeriksaan Slump 82

Tabel 4.8 Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja 88

Tabel 4.9 Data Hasil Uji Kuat Tekan Silinder 90
Tabel 4.10 Hasil Pengujian Beban Lentur Balok Tanpa Tulangan..... 90
Tabel 4.11 Hasil Pengujian Kuat Lentur Balok 91
Tabel 4.12 Hasil Analisa Perhitungan Kuat Lentur Balok Tanpa Tulangan... 93
Tabel 4.13 Hasil Pengujian Kuat Lentur..... 97
Tabel 4.14 Data Hasil Pengujian Kuat Lentur Balok Beton Bertulang..... 98
Tabel 4.15 Persamaan Regresi Pengaruh Variasi Jarak Tulangan Sengkang Spiral Terhadap Beban Lentur 98
Tabel 4.16 Data Momen Lentur Balok beton Bertulang..... 99
Tabel 4.17 Koefisien Determinasi dan Uji t..... 100
Tabel 4.18 Metode Analisa Varian (ANOVA) 100

DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar 2.1 Balok beton tanpa tulangan 16

Gambar 2.2 Balok Beton Bertulang 17

Gambar 2.3 Retak pada balok 18

Gambar 2.4 Jenis Retakan Pada Balok..... 19

Gambar 2.5 Contoh pemasangan tulangan longitudinal pada balok dan Plat..... 20

Gambar 2.6 Aturan pemasangan tulangan balok..... 22

Gambar 2.7 Metode Pengujian Kuat Tarik Lentur..... 34

Gambar 2.8 Skema Hitungan Tulangan Longitudinal Balok (Penampang Balok dengan Tulangan Tunggal) 41

Gambar 2.9 Skema Hitungan Momen Rencana Balok (Penampang Balok dengan Tulangan Tunggal)..... 42

Gambar 2.10 Distribusi Tegangan dan Regangan pada Penampang Balok ... 43

Gambar 2.11 Ilustrasi Garis Regresi Linier..... 50

Gambar 3.1 BJTP diameter 8 mm dan diameter 10 mm 53

Gambar 3.2 Kerucut Abram 54

Gambar 3.3 *Manometer* dan *Hiudroulic Jack* dengan Alat Pembagi Beban Menjadi Dua Beban yang Sama Besar 55

Gambar 3.4 Hubungan Faktor Air Semen dan Kuat Tekan Silinder..... 60

Gambar 3.5 Hubungan Faktor Air Semen dan Kuat Tekan Silinder..... 61

Gambar 3.6 Grafik Persentase Agregat Halus Terhadap Agregat

Keseluruhan dengan Ukuran Butir Maksimum 40 mm..... 65
Gambar 3.7 Grafik Hubungan Kandungan Air, Berat Jenis Campuran dan Berat Beton..... 66
Gambar 3.8 Bekisiting..... 68
Gambar 3.9 Pemasangan Tulangan Lentur Balok dan Potongan A-A..... 68
Gambar 3.10 Tulangan Spiral 69
Gambar 3.11 Pengecoran Balok Beton 70
Gambar 3.12 Perendaman Benda Uji di Dalam Bak Air Selama 28 Hari..... 71
Gambar 4.1 Gradasi Pasir dan Batasan Gradasi Pasir Menurut ASTM C33/C33M-11a..... 75
Gambar 4.2 Gradasi Kerikil dan Batasan Gradasi Kerikil Menurut ASTM C33/C33M-11a..... 79
Gambar 4.3 Potongan A-A dan Detail Tulangan 86
Gambar 4.4 Bentang dan dimensi balok 91
Gambar 4.5 Bentang dan dimensi balok yang direncanakan 93
Gambar 4.6 Perbandingan Momen Nominal antara Jarak Spiral yang Berbeda..... 97
Gambar 4.7 Pengaruh Variasi Jarak Tulanga Sengkang Spiral Terhadap Beban Lentur Balok Beton Bertulang..... 101

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Laporan Hasil Uji Tarik

Lampiran 2 Laporan Pengujian Kuat Lentur Beton

Lampiran 3 Hasil Pengujian Bahan

Lampiran 4 Hitungan Kebutuhan Bahan Dasar Beton

Lampiran 5 Tabel Distribusi

Lampiran 6 Dokumentasi Pengujian

DAFTAR NOTASI DAN SIMBOL

a = Tinggi balok tegangan persegi ekivalen

As = Luas tulangan tarik

A_{sb} = Luas tulangan tarik dalam keadaan *balance*

As_{max} = Luas tulangan tarik maksimum

As_{min} = Luas tulangan tarik minimum

b = Jarak maksimum (as-as) tulangan samping diambil ≤ 300 mm dan ≤ (1/6) kali tinggi efektif balok.

C = Resultan gaya tekan pada beton

c = Jarak antara garis netral dan tepi serat beton tekan

D = diameter tulangan longitudinal (mm)

d = Jarak serat tekan ke pusat tulangan tarik (mm)

ds = Jarak titik berat tulangan tarik sampai serat tepi beton bagian tarik. Sebaiknya diambil ≥ 60 mm.

Es = Modulus elastisitas baja tulangan (MPa)

f_c' = Kuat tekan beton.

f_r = Kuat lentur beton (Mpa)

fs = Tegangan tarik baja tulangan

fy = Kekuatan leleh tulangan baja (MPa)

P = Beban batas benda uji (N)

L = Panjang benda uji (mm)

m = perbandingan tegangan

Mn = Momen nominal aktual penampang balok (KNm)

n = Jumlah data

r^2 = Koefisien Determinasi

S_b = Tebal selimut beton minimum.

Snv = Jarak bersih tulangan pada arah vertical diambil ≥ 25 mm, dan ≥ D.

Sr = Deviasi standar

T = Resultan gaya tarik pada tulangan

Wc = berat volume beton (kg/m^3)

Xi = kuat tekan beton yang didapat dari masing-masing benda uji

Z = lengan momen, yaitu jarak antara gaya tarik dan tekan yang membentuk kopel yang besarnya

$ß_1$ = Faktor pembentuk tegangan beton tekan persegi ekivalen, yang bergantung pada mutu beton (f'c)

ρ = Rasio As terhadap bd

ρ_b = Rasio As terhadap bd yang menghasilkan kondisi regangan seimbang

ρ_{min} = Rasio tulangan minimal

ρ_{max} = Rasio tulangan maksimal

ε_s = regangan tarik baja tulangan

X = Variabel bebas

$\bar{X}$ = Kuat tekan beton rata-rata

$\hat{Y}$ = Garis regresi

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Beton banyak mengalami perkembangan, baik dalam pembuatan campuran maupun dalam pelaksanaan konstruksinya. Salah satu perkembangan beton yaitu pembuatan kombinasi antara material beton dan baja tulangan menjadi satu kesatuan konstruksi yang dikenal sebagai beton bertulang.

Beton bertulang sebagai elemen balok harus diberi penulangan yang berupa penulangan lentur dan penulangan geser (sengkang). Ada beberapa macam tulangan geser pada balok, yaitu tulangan sengkang vertikal, sengkang spiral, sengkang miring. Ketiga macam tulangan ini sudah sangat lazim diterapkan dan sudah sangat dikenal dalam dunia konstruksi, sehingga dapat dikenal sebagai tulangan sengkang konvensional.

Tulangan lentur dipasang secara horizontal dari sumbu balok dan berfungsi menahan beban momen lentur, sedangkan tulangan geser atau begel dipasang secara tegak lurus terhadap sumbu balok beton dan berfungsi sebagai penahan beban gaya geser. Hal ini kemudian dikembangkan lebih lanjut ke dalam konsep perubahan geometri tulangan sengkang untuk meningkatkan kapasitas lentur.

Tulangan sengkang konvensional yang telah dikenal selama ini dalam konsep perhitungannya dengan memperhitungkan bahwa bagian tulangan sengkang yang berfungsi menahan beban geser adalah bagian tulangan sengkang pada arah vertikal (tegak lurus terhadap sumbu batang balok). Hal ini dikarenakan perilaku beban geser balok akan menyebabkan terjadinya keretakan geser. Keretakan geser akan

menyebabkan terbelahnya balok menjadi dua bagian yang dipisahkan oleh garis keretakan geser tersebut, yaitu bagian bawah retak geser dan bagian atas retak geser. (Sumajouw dkk, 2013: 65)

Perilaku balok pada beton bertulang pada keadaan runtuh karena geser sangat berbeda dengan pada keruntuhan karena lentur. Balok tersebut langsung hancur tanpa adanya peringatan terlebih dahulu. Pada daerah yang mengalami momen yang besar, retak yang dapat terjadi disebut retak lentur. Pada daerah yang gesernya besar, akibat tarik diagonal dapat terjadi retak miring sebagai kelanjutan dari retak lentur, dan disebut retak geser lentur. Pada daerah yang mengalami keruntuhan lentur, retak terutama terjadi pada sepertiga tengah bentang, dan tegak lurus terhadap arah tegangan utama. (Sitanggang D, 2016: 1)

Berdasarkan hal tersebut diatas, maka dilakukan penelitian yang bersifat eksperimental "PENGARUH VARIASI JARAK TULANGAN SENGKANG SPIRAL TERHADAP KUAT LENTUR BALOK BETON BERTULANG " untuk mengevaluasi seberapa besar pengaruh variasi jarak tulangan spiral terhadap kuat lentur balok tersebut.

1.2 Maksud dan Tujuan

Maksud dari penelitian ini adalah untuk menganalisa pengaruh variasi jarak tulangan sengkang spiral pada balok beton bertulang yang memenuhi kriteria kuat lentur.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kuat lentur balok beton bertulang akibat pengaruh variasi jarak tulangan sengkang spiral terhadap kuat lentur balok beton bertulang.

1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang, maka perumusan masalah dapat di identifikasi sebagai berikut:

1. Apakah ada pengaruh variasi jarak tulangan sengkang spiral terhadap kuat lentur balok beton bertulang dengan penampang persegi panjang?
2. Bagaimana pengaruh variasi jarak tulangan sengkang spiral terhadap pola retak balok?

1.4 Batasan Masalah

Dalam penelitian yang dilakukan, ada beberapa lingkup masalah yang dibatasi untuk mencapai maksud dan tujuan yaitu:

1. Pengujian terhadap kuat lentur beton dengan variasi jarak tulangan sengkang spiral.
2. Tidak menghitung hubungan tegangan dan regangan.
3. Benda uji yang dipakai balok persegi panjang dengan dimensi 15 × 15 cm dengan bentang 60 cm. Menggunakan tulangan sengkang spiral dengan jarak yang berbeda dan 4 tulangan longitudinal.
4. Menggunakan tulangan begel benbentuk spiral Ø8 dengan jarak yang berbeda dan 4 tulangan longitudinal Ø10.
5. Jumlah benda uji 20 buah. 5 buah dengan jarak tulangan sengkang spiral 2.5 cm, 5 buah dengan jarak tulangan sengkang spiral 5 cm, 5 buah dengan jarak tulangan sengkang spiral 10 cm, dan 5 beton normal (sebagai kontrol).
6. Untuk kuat tekan rencana beton dalam mutu f'c 30 MPa.
7. Kajian terhadap kuat lentur aplikasi pada balok.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

2.1.1 Penggunaan Tulangan Pengekang terhadap Ketahanan Geser pada Struktur Beton Bertulang

Dalam penelitian sebelumnya, Jaafar, K (2013) dijelaskan bahwa secara umum tulangan melintang pada batang beton bertulang dengan penampang bundar terbentuk dari beberapa pengikat bundar atau spiral. Tujuannya pada balok yang tidak mengalami beban geser untuk memberikan daya kekang yang cukup pada beton, dan untuk menghilangkan tekukan terhadap balok tulangan memanjang. Artikel ini bertujuan untuk meneliti validitas konsep yang difokuskan pada metode saat ini terhadap desain geser yang digunakan pada kode desain, khususnya terhadap balok dengan konfigurasi geser yang tidak sesuai dengan aturan kode dasar dalam pembuatan kuda-kuda.

Kesimpulan dari kutipan Jaafar, K (2013) maka dapat dijelaskan bahwa Metode integrasi rerata untuk menilai kontribusi geser tulangan spiral tidak memadai, terutama dalam kasus sudut kemiringan retakan yang curam dan jarak spiral besar. Pendekatan bijaksana adalah alat yang lebih dapat diandalkan untuk menilai kontribusi geser spiral. Dari bukti eksperimental yang disajikan dalam Jaafar (2008), tampak jelas bahwa banyak konsep yang mendasari metode desain saat ini tidak sesuai dengan hasil eksperimen yang diamati (terutama dalam kasus di mana kuda-kuda tinggi tidak dapat terbentuk di dalam balok tipe SSC dan SST).

2.2 Beton

Beton didapat dari pencampuran antara bahan–bahan agregat halus dan kasar yaitu pasir, batu, batu pecah, atau bahan semacam lainnya, dengan menambahkan bahan perekat semen secukupnya, dan air sebagai bahan pembantu guna keperluan

reaksi kimia selama proses pengerasan dan perawatan beton berlangsung. Agregat halus dan kasar, disebut sebagai bahan susun kasar campuran, merupakan komponen utama beton.

Nilai kuat tekan beton relatif tinggi bila dibandingkan dengan kuat tariknya, sehingga beton merupakan bahan bersifat getas. Nilai kuat tariknya hanya berkisar 9% - 15% saja dari kuat tekannya. Pada penggunaan sebagai komponen structural bangunan, umumnya beton diperkuat dengan batang tulangan baja sebagai bahan yang dapat bekerja sama dan mampu membantu kelemahannya, terutama pada bagian yang menahan gaya tarik.

Kerja sama antara beton dan baja tulangan (sebagai beton bertulang) hanya dapat terwujud dengan didasarkan pada keadaan–keadaan berikut (Dipohusodo, 1994:2):

1. Lekatan sempurna antara batang tulangan baja dengan beton keras yang membungkusnya sehingga tidak terjadi penggelinciran di antara keduanya,
2. Beton yang mengelilingi batang tulangan baja bersifat kedap sehingga mampu melindungi dan mencegah terjadinya karat baja,
3. Angka muai kedua bahan hampir sama untuk setiap kenaikan suhu satu derajat

Beton tidak dapat menahan gaya tarik melebihi nilai tertentu tanpa mengalami retak-retak. Untuk itu, agar beton dapat bekerja dengan baik dalam suatu sistem struktur, perlu dibantu dengan memberinya perkuatan tulangan yang terutama akan mengemban tugas menahan gaya tarik yang bakal timbul didalam sistem (Dipohusodo, 1994:12)

2.3 Beton Bertulang dan Sejarah Penggunaan Beton Bertulang

Beton bertulang adalah kombinasi dari beton serta tulangan baja, yang bekerja secara bersama-sama untuk memikul beban yang ada. Tulangan baja akan memberikan kuat Tarik yang tidak dimiliki oleh beton. Selain itu tulangan baja juga mampu memikul beban tekan, seperti digunakan pada elemen kolom beton.

Sifat utama dari beton, yaitu sangat kuat terhadap beban tekan, tetapi juga bersifat getas/mudah patah atau rusak terhadap beban tarik. Dalam perhitungan struktur, kuat tarik beton ini biasanya diabaikan.

Sifat utama dari baja tulangan, yaitu sangat kuat terhadap beban tekan maupun beban tarik. Karena baja tulangan harganya mahal, maka sedapat mungkin dihindari penggunaan baja tulangan untuk memikul beban tekan.

Dari sifat utama tersebut, maka jika kedua bahan (beton dan baja tulangan) dipadukan menjadi satu kesatuan secara komposit, akan diperoleh bahan baru yang disebut beton bertulang. Beton bertulang ini mempunyai sifat sesuai dengan sifat bahan penyusunnya, yaitu sangat kuat terhadap beban tarik maupun beban tekan. Beban tarik pada beton bertulang ditahan oleh baja tulangan, sedangkan beban tekan cukup ditahan oleh beton.

Penggunaan material yang mirip dengan material beton yang dikenal dewasa ini, sudah dimulai sejak zaman Romawi. Bangsa Romawi menemukan timbunan vulkanis dalam jumlah besar di sekitar lokasi Gunung Vusuvius serta beberapa tempat lain di Italia.

Beberapa tokoh yang mempelopori perkembangan beton ini, antara lain disebutkan sebagai berikut:

1. F. Coignet, pada tahun 1801: menerbitkan tulisannya mengenai prinsip-prinsip konstruksi beton dengan meninjau kelemahan bahan tersebut dapat ditarik.
2. J.L. Lambot, pada tahun 1850: pertama kali membuat kapal kecil dari semen, dan dipamerkan pada Pameran Dunia Tahun 1854 di Paris. Dia mendapatkan hak paten pada tahun 1855.
3. W.B. Wilkinson (Inggris), pada tahun 1854: mendapatkan satu hak paten untuk pelat lantai beton bertulang.
4. Joseph Monier, pada tahun 1867: seorang ahli taman dari Perancis, orang pertman yang mendapatkan hak paten dalam pemakaian beton bertulang untuk wadah tanamannya dan untuk *tube* beton bertulang. Kemudian diikuti oleh banyak paten yang lain, seperti pipa dan tangki tahun 1868, pelat datar pada tahun 1869, jembatan pada tahun 1873, dan tangga pada tahun 1875. Hak paten dari Jerman diperolehnya pada tahun 1880-1881 untuk bantalan kereta api, jambangan bunga bulat, pelat datar, dan saluran pengairan.
5. Koenan, pada tahun 1886: menerbitkan tulisannnnya tentang teori dan perancangan struktur beton.
6. C.A.P. Turner, pada tahun 1906: pertama kali mengembangkan *flat slab* tanpa balok.

2.4 Bahan Penyusun Beton

Kualitas beton dapat ditentukan antara lain dengan pemilihan bahan-bahan pembentuk beton yang baik, perhitungan campuran yang tepat, cara pengerjaan dan

perawatan beton dengan baik, serta pemilihan bahan tambah yang tepat dengan dosis optimum yang diperlukan. Bahan-bahan penyusun beton yang digunakan pada penelitian ini adalah:

2.4.1 Semen

Semen yang merupakan salah satu bahan dasar pembuatan beton tergolong hidrolis. Jenis semen hidrolis yang banyak digunakan hingga saat ini adalah merupakan semen Portland yang dipatenkan di Inggris pada tahun 1824 atas nama Joseph Aspdin. Semen Portland adalah material berbentuk bubuk berwarna abu-abu dan banyak mengandung kalsium dan aluminium silica. Bahan dasar pembuat semen sebenarnya adalah batu kapur yang mengandung CaO, serta lempung atau tanah liat yang mengandung SiO_2 dan Al_2O_3. Material-material ini dicampur dan ditambahkan gips dalam jumlah yang cukup, kemudian dibakar dalam klinker dan kemudian didinginkan.

Bahan-bahan dasar semen terdiri dari kapur (CaO_2), silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3) dan oksida besi (Fe_2O_3), pada saat proses manufaktur seiring dengan penambahan bahan tambah lainnya, maka terjadilah suatu reaksi kimiawi yang cukup kompleks.

Tabel 2.1 Komposisi Oksida Semen Portland

Senyawa Oksida	Pesentase
Kapur, CaO	60-67
SiO_2	17-25
Al_2O_3	3-8
Fe_2O_3	0.5-6
MgO	0,1-4
Alkali (K_2O, Na_2O)	0,4-1,3
SO_3	1,3-3,0

Sumber: Buku Perancangan Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847:2013 Oleh Agus Setiawan

Meskipun banyak unsur ko,pleks yang terbentuk pada pembuatan semen, namun ada 4 unsur utama yang paling penting yang terkandung dalam semen, yaitu:

1. Trikalsium silikat (C_3S) atau $3CaO.SiO_2$
2. Dikalsium silikat (C_2S) atau $2CaO.SiO_2$
3. Trikalsium aluminat (C_3A) atau $3CaO.Al_2O_3$
4. Tetrakalsium aluminoferit (C_4AF) atau $4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$

Di pasaran terdapat jenis semen yang sering digunakan di dunia konstruksi, tergantung jenis dan permasalahan yang dihadapi selama masa konstruksi. Beton yang terbuat dari semen Portland biasa memerlukan waktu sekitar dua puluh delapan hari untuk memperoleh kekuatan maksimal.

Secara umum sesuai dengan standar American Society for Testing and Meterials (ASTM), jenis semen yang ada dapat dikategorikan menjadi lime jenis:

1. Tipe I – Jenis semen biasa yang dapat digunakan pada pekerjaan konstruksi umum

2. Tipe II – Merupakan modifikasi dari semen Tipe I, yang memiliki panas hidrasi lebih rendah dan dapat tahan dari beberapa jenis serangan sulfat.
3. Tipe III – merupakan tipe semen yang dapat menghasilkan kuat tekan beton awal yang tinggi. Setelah 24 jam proses pengecoran semen tipe ini akan menghasilkan kuat tekan dua kali lebih tinggi daripada semen tipe biasa, namun panas hidrasi yang dihasilkan semen jenis ini lebih tinggi daripada panas hidrasi semen tipe I.
4. Tipe IV – merupakan semen yang mampu menghasilkan panas hidrasi yang rendah, sehingga cocok digunakan pada proses pengecoran struktur beton yang masif.
5. Tipe V – digunakan untuk struktur-struktur beton yang memerlukan ketahanan yang tinggi dari serangan sulfat.

Sifat-sifat semen portland dapat dibedakan menjadi dua, yaitu sifat fisaka dan sifat kimia.

1. Sifat-sifat fisika semen Portland meliputi kehalusan butir (finesses), kepadatan (density), konsitensi, waktu pengikatan, panas hidrasi dan perubahan volume (kekalan).
2. Sifat-sifat kimia meliputi kesegaran semen, sisa yang tak larut dan panas hidrasi semen.

Semen akan bereaksi apabila dicampur dengan air, dan akan mulai membentuk pasta yang secara perlahan akan mengeras menjadi suatu massa yang padat. Proses ini disebut dengan istilah proses hidrasi semen. Agar reaksi hidrasi dapat berlangsung, pada umumnya dibutuhkan air sebanyak kurang lebih 25% dari berat semen (atau dikatakan rasio air semen = 0.25). Tambahan air

diperlukan untuk memberikan mobilitas pada air di dalam pasta semen selema proses hidrasi sehingga dapat mencapai partikel semen, disamping itu air tambaha juga diperlukan untuk memberikan kemudahan pengerjaan (*workability*) pada campuran beton. Untuk beton normal, rasio air semen pada umumnya berkisar antara 0.4 hingga 0.6, sedangkan untuk beton mutu tinggi rasio air semen biasanya diambil cukup rendah hingga 0.2.

2.4.2 Air

Air merupakan bahan yang penting juga dalam pembuatan suatu campuran beton. Air yang dicampur dengan semen akan membungkus agregat halus dengan agregat kasar menjadi satu kesatuan. Pencampuran semen dan air akan menimbulkan suatu reaksi kimia yang disebut dengan istilah rekasi hidrasi.

Air untuk pembuatan beton sebaiknya digunakan air bersih yang dapat diminum. Air yang diambil dari dalam tanah (misalnya air sumur) atau air yang berasal dari Perusahaan Air Minum, pada umumnya cukup baik digunakan bila dipakai untuk pembuatan beton.

Menurut Peraturan Beton Bertulang Indonesia Tahun 1971 (PBI-1971), air yang digunakan untuk pembuatan dan perawatan beton tersebut tidak boleh mengandung minyak, asam, alkali, garam-garam, bahan-naham organis atau bahan-bahan lain yang merusak beton dan/atau baja tulangan,

Dalam pemakaian air untuk beton sebaiknya air memenuhi syarat sebagai berikut :

1. Tidak mengandung lumpur (benda melayang lainnya) lebih dari 2 gram/liter.

2. Tidak mengandung garam-garam yang dapat merusak beton (asam, zat organik, dan sebagainya) lebih dari 15 gram/liter.
3. Tidak mengandung klorida (Cl) lebih dari 0,5 gram/liter.
4. Tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gram/liter.

2.4.3 Agregat

Agregat ialah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran beton. Pada suatu campurabn beton normal, agregat menempati 70 hingga 75% volume beton yang mengeras. Sisanya ditempati oleh pasta semen, air yang tersisa dari reaksi hidrasi serta rongga udara. Secara umum semakin padat susunan agregat dalam campuran beton, maka beton yang dihasilkan akan makin tahan lama dan ekonomis. Oleh karena itu, agar dapat dipadatkan dengan baik, maka ukuran agregat halus harus dipilih sedemikian rupa sehingga memenuhi gradasi yang disarankan. Perlu juga diperhatikan bahwa agregat hendaknya memiliki kekuatan yang baik, awet dan tahan cuaca, disamping itu juga harus bersih dari kotoran seperti lempung, tanah liat, lanau, maupun kotoran organic lainnya yang akan melemahkan lekatan antara pasta semen dan agregat. Secara umum agregat diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu agrgat kasar dan agregat halus.

a. Agregat Halus

Agregat halus (pasir) adalah mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran beton yang memiliki ukuran butiran kurang dari 5 mm atau lolos saringan no.4 dan tertahan pada saringan no.200. Agregat halus (pasir) berasal dari hasil disintegrasi

alami dari batuan alam atau pasir buatan yang dihasilkan dari alat pemecah batu (*stone crusher*). (Haitami: 2011)

Menurut Ali Asroni (2010), pasir yang digunakan sebagai bahan beton, harus memenuhi syarat sebagai berikut:

1. Berbutir tajam dan keras.
2. Bersifat kekal, yaitu tidak mudah lapuk/hancur oleh perubahan cuaca, seperti terik matahari dan hujan.
3. Tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% dari berat keringnya. Jika kandungan lumpur lebih dari 5%, maka pasir tersebut harus dicuci.
4. Tidak boleh digunakan pasir laut (kecuali dengan petunjuk staff ahli), karena pasir laut ini banyak mengandung garam yang dapat merusak beton/baja tulangan.

b. Agregat Kasar

Kerikil merupakan agregat kasar yang mempunyai ukuran diameter 5 mm sampai 40 mm. Sebagai pengganti kerikil dapat pula dipakai batu pecah (*split*). Kerikil atau batu pecah yang mempunyai ukuran diameter lebih dari 40 mm tidak baik untuk pembuatan beton.

Agregat kasar yang akan dicampurkan sebagai adukan beton harus memenuhi syarat mutu yang telah ditetapkan. Adapun persyaratan mutu agregat kasar menurut PBI 1971 Bab 3.4 adalah sebagai berikut:

1. Agregat kasar harus terdiri dari butiran–butiran yang keras dan tidak berpori. Agregat kasar yang mengandung butir-

butir pipih hanya dapat dipakai apabila jumlah butir – butir tersebut tidak melebihi dari 20 % berat agregat seluruhnya. Butir – butir agregat kasar tersebut harus bersifat kekal artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca.

2. Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1% (ditentukan dari berat kering). Yang diartikan dengan lumpur adalah bagian–bagian yang dapat melalui ayakan 0,063 mm. Apabila kadar lumpur melebihi 1% maka agregat harus dicuci terlebih dahulu sebelum digunakan.
3. Agregat kasar tidak boleh mengandung zat –zat yang dapat merusak beton, seperti zat reaktif alkali.
4. Keausan dari butir – butir agregat kasar diperiksa dengan mesin Los Angles dengan syarat – syarat tertentu.
5. Agregat kasar terdiri dari butir–butir yang beraneka ragam besarnya dan tidak melewati saringan 4.75 mm.
6. Besar butiran agregat maksimum tidak boleh lebih dari 1/5 jarak terkecil antara bidang – bidang samping dari cetakan, 1/3 dari tebal plat, atau ¾ dari jarak bersih minimum antara batang–batang atas tulangan.

2.5 Balok

Balok dapat didefinisikan sebagai salah satu dari elemen struktur portal dengan bentang yang arahnya horizontal. Sedangkan portal merupakan kerangka utama dari struktur bangunan, khususnya bangunan gedung. Portal digambarkan dalam garis-garis horizontal (disebut: balok) dan vertikal (disebut: kolom) yang

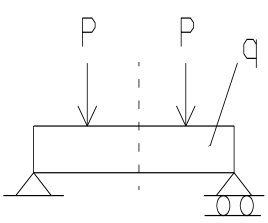
saling bertemu/berpotongan pada titik buhul (joint). Biasanya pada perencanaan portal dengan bahan beton bertulang, ujung kolom bagian bawah dari portal tersebut bertumpu/tertanam kuat pada fondasi dan dapat dianggap/direncanakan sebagai perletakan jepit ataupun sendi.

Beban yang bekerja pada balok biasanya berupa beban lentur, beban geser maupun torsi (momen punter), sehingga perlu baja tulangan untuk menahan beban-beban tersebut. Tulangan ini berupa tulangan memanjang atau tulangan longitudinal (yang menahan beban lentur) serta tulangan geser/begel (yang menahan beban geser dan torsi). (Asroni, 2010: 39)

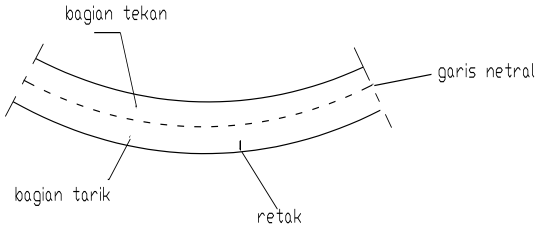
2.5.1 Balok Beton Tanpa Tulangan

Sifat dari bahan beton, yaitu sangat kuat untuk menahan tekan, tetapi tidak kuat (lemah) untuk menahan tarik. Oleh karena itu, beton dapat mengalami retak jika beban yang dipikulnya menimbulkan tegangan tarik yang melebihi kuat tariknya.

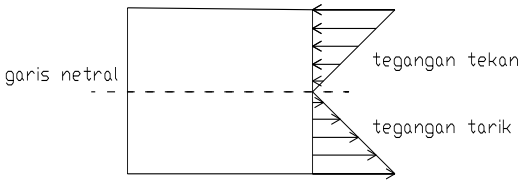
Jika sebuah balok beton (tanpa tulangan) ditumpu oleh tumpuan sederhana (sendi-rol), dan diatas balok tersebut bekerja beban terpusat (P) serta beban merata (q), maka akan timbul momen luar, sehingga balok akan melengkung ke bawah seperti tampak pada gambar 2.1 (a) dan Gambar 2.1 (b).



(a) Balok dengan beban P dan q



(b) Balok melengkung



(c) Diagram tegangan beton

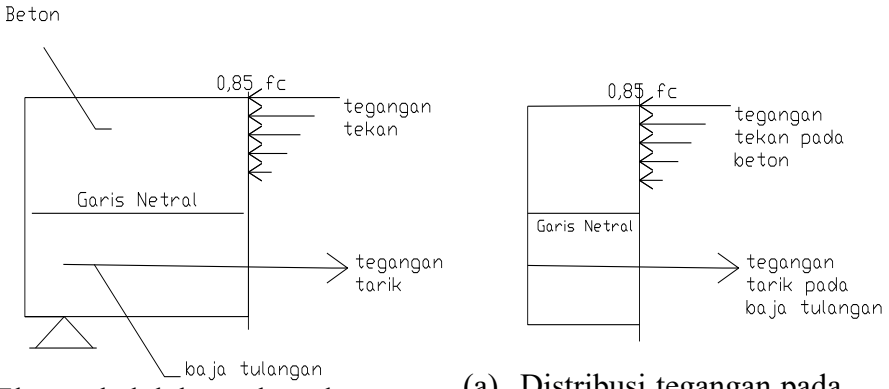
Gambar 2.1 Balok beton tanpa tulangan
Sumber: Balok dan Pelat Beton Bertulang oleh Ali Asroni 2017

Pada balok yang melengkung ke bawah akibat beban luar ini pada dasarnya ditahan oleh kopel gaya-gaya dalam yang berupa tegangan tekan dan tarik. Jadi pada serat-serat balok bagian tepi atas akan menahan tegangan tekan, dan semakin ke bawah tegangan tekan tersebut akan semakin kecil. Sebaliknya, serat-serat bagian tepi bawah akan menahan tegangan tarik, dan semakin ke atas tegangan tariknya akan semakin kecil pula (lihat Gambar 2.1 (c)). Pada bagian tengah, yaitu pada batas antara tegangan tekan dan tarik, serat-serat balok tidak mengalami tegangan sama sekali (tegangan tekan maupun tegangan tarik bernilai nol). Serat-serat yang tidak mengalami tegangan tersebut membentuk suatu garis yang disebut garis netral.

Jika beban di atas balok itu cukup besar, maka serat-serat beton pada bagian tepi bawah akan mengalami tegangan tarik cukup besar pula, sehingga dapat terjadi retak beton pada bagian bawah. Keadaan ini terjadi terutama pada daerah beton yang momennya besar, yaitu pada bagian tengah bentang.

2.5.2 Balok Beton dengan Tulangan

Untuk menahan gaya tarik yang cukup besar pada serat-serat balok bagian tepi-bawah, maka perlu diberi baja tulangan sehingga disebut dengan istilah “beton bertulang”. Pada balok beton bertulang ini, tulangan baja ditanam di dalam beton sedemikian rupa, sehingga gaya tarik yang dibutuhkan untuk menahan momen pada penampang retak dapat ditahan oleh baja tulangan, seperti tampak pada gambar 2.2.



(b) Elemen balok beton bertulang (a) Distribusi tegangan pada penampang retak

Gambar 2.2 Balok Beton Bertulang
Sumber: Balok dan Pelat Beton Bertulang oleh Ali Asroni 2017

2.6 Retak pada balok

Retak terjadi pada umumnya menunjukkan bahwa lebar celah retak sebanding dengan besarnya tegangan yang terjadi pada batang tulangan baja tarik dan beton pada ketebalan tertentu yang menyelimuti batang baja tersebut. Meskipun retak tidak dapat dicegah, namun ukurannya dapat dibatasi dengan cara menyebar atau mendistribusikan tulangan. Pada dasarnya ada tiga jenis keretakan pada balok (Gilbert, 1990):

1. Retak lentur (*flexural crack*), terjadi akibat kegagalan balok dalam menahan beban lentur, sehingga biasanya terjadi pada daerah lapangan

(bentang tengah) balok, karena pada daerah ini timbul momen lentur paling besar. Arah retak terjadi hampir tegak lurus pada sumbu balok (lihat Gambar 2.3.(a)).

2. Retak geser pada bagian balok (*web shear crack*), terjadi akibat kegagalan balok dalam menahan beban geser, sehingga biasanya terjadi pada daerah ujung (dekat tumpuan) balok, karena pada daerah ini timbul gaya geser/gaya lintang paling besar. Retak yang terjadi yaitu arah keretakan miring, membentuk sudut sekitar 45° (lihat Gambar 2.3.(b)).
3. Retak geser-lentur (*flexural shear crack*), terjadi pada bagian balok yang sebelumnya telah terjadi keretakan lentur. Retak geser lentur merupakan perambatan retak miring dari retak lentur yang sudah terjadi sebelumnya (lihat Gambar 2.3 (c)).

(a)

(b)

(c)

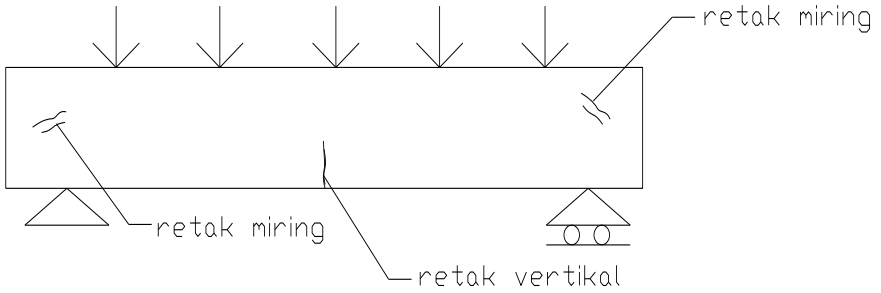
Gambar 2.3 Retak pada balok
Sumber: Jurnal Kapasitas Lentur Balok Beton Bertulang Sistem Rangka dengan Variasi Jarak Spasi 2018

Beton hanya mampu memikul regangan tarik yang relatif rendah sebelum retak, setelah retak beton mengalami perpanjangan (*elongation*) dengan melebarnya retakan dan pertambahan retakan yang baru.

2.7 Tulangan Geser Balok

2.7.1 Retakan Pada Balok

Jika ada sebuah balok yang ditumpu secara sederhana (yaitu dengan tumpuan sendi pada ujung yang satu dan tumpuan rol pada ujung lainnya), kemudian diatas balok diberi beban cukup berat, balok tersebut dapat terjadi 2 jenis retakan, yaitu retak yang arahnya vertical dan retak yang arahnya miring.



Gambar 2.4 Jenis Retakan Pada Balok
Sumber: Balok dan Pelat Beton Bertulang oleh Ali Asroni 2017

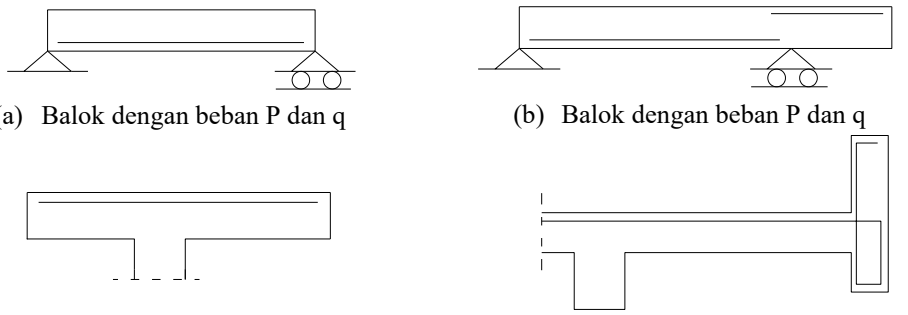
Retak vertikal terjadi akibat kegagalan balok dalam menahan beban lentur, sehingga biasanya terjadi pada daerah lapangan (bentang tengah) balok, karena pada daerah ini timbul momen lentur paling besar. Retak miring terjadi akibat kegagalan balok dalam menahan beban geser, sehingga biasanya terjadi pada daerah ujung (dekat tumpuan) balok, karena pada daerah ini timbul gaya geser paling besar.

2.8 Pemasangan Tulangan

2.8.1 Pemasangan Tulangan Longitudinal

Fungsi utama baja tulagan pada struktur beton bertulang yaitu untuk menahan gaya tarik. Oleh karena itu pada struktur balok, pelat, fondasi, ataupun struktur lainnya dari bahan beton bertulang selalu diupayakan agar tulangan longitudinal (tulangan memanjang) dipasang pada serat-serat beton yang mengalami tegangan tarik. Keadaan ini terjadi terutama pada daerah yang menahan momen lentur besar (umumnya di daerah lapangan/tengah bentang, atau di atas tumpuan), sehingga sering mengakibatkan terjadinya retakan beton akibat tegangan lentur tersebut.

Tulangan longitudinal ini dipasang searah sumbu batang. Berikut ini diberikan beberapa contoh pemasangan tulangan memanjang pada balok maupun pelat (lihat Gambar 2.5).



(a) Balok dengan beban P dan q

(b) Balok dengan beban P dan q

(c) Balok dengan beban P dan q

(d) Balok dengan beban P dan q

Gambar 2.5 Contoh pemasangan tulangan longitudinal pada balok dan plat
Sumber: Balok dan Pelat Beton Bertulang oleh Ali Asroni 2017

2.8.2 Pemasangan Tulangan Geser

Retakan beton pada balok juga dapat terjadi di daerah ujung balok yang dekat dengan tumpuan. Retakan ini disebabkan oleh bekerjanya gaya geser

atau gaya lintang balok yang cukup besar, sehingga tidak mampu ditahan oleh material beton dari balok yang bersangkutan.

Agar balok dapat menahan gaya geser tersebut, maka diperlukan tulangan geser yang dapat berupa tulangan miring atau berupa sengkang. Jika sebagai penahan gaya geser hanya digunakan sengkang saja, maka pada daerah dengan gaya geser besar (misalnya pada ujung balok yang dekat tumpuan) dipasang sengkang dengan jarak yang rapat sedangkan pada daerah dengan gaya geser kecil (lapangan) dapat dipasang sengkang dengan jarak yang lebih besar/renggang.

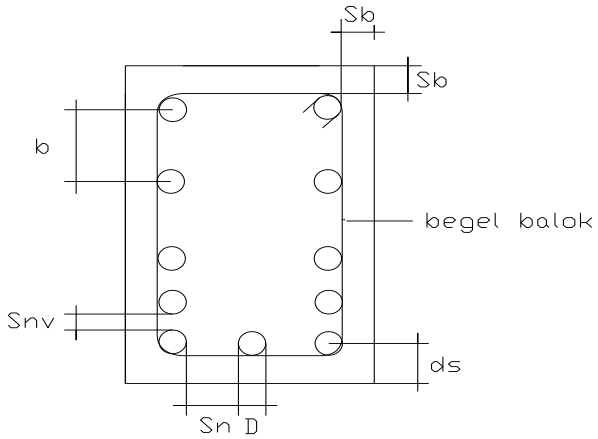
2.9 Spiral

Tulangan spiral (*Spiral reinforcement*) adalah Tulangan yang digulung menerus dalam bentuk lilitan melingkar. Pada komponen struktur tekan bertulangan spiral atau pengikat, jarak bersih antar tulangan longitudinal tidak boleh kurang dari **1,5*db*** atau kurang dari 40 mm.

Spiral harus terdiri dari batang tulangan atau kawat menerus yang berspasi sama dari ukuran yang sedemikian dan digabungkan sedemikian rupa yang mengizinkan penanganan dan penempatan tanpa penyimpangan dari dimensi yang dirancang. Untuk konstruksi cor ditempat, ukuran spiral tidak boleh kurang dari diameter 10 mm. Spasi bersih antar spiral tidak boleh melebihi 75 mm, atau tidak kurang dari 25 mm. Pengangkuran spiral harus disediakan oleh 1-1/2 lilitan ekstra batang tulangan atau kawat spiral pada setiap ujung unit spiral.

2.10 Jarak tulangan pada balok

Tulangan longitudinal maupun sengkang balok diatur pemasangannya dengan jarak tertentu, seperti dilihat pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 Aturan pemasangan tulangan balok
Sumber: Buku Teori dan Desain Plat Beton Bertulang oleh Ali Asroni 2017

Keterangan Gambar 2.6:

Sb = tebal selimut beton minimum (Pasal 9.7-1 SNI 03-2847-2002). Jika berhubungan dengan tanah/cuaca:

Untuk D ≥ 16 mm, tebal Sb = 50 mm

Untuk D ≤ 16 mm, tebal Sb = 40 mm

Jika tak berhubungan dengan tanah/cuaca tebal Sbm= 40 mm

b = jarak maksimum (as-as) tulangan samping (3.3.6.7 SK SNI T-15-1991-03), diambil ≤ 300 mm dan ≤ (1/6) kali tinggi efektif balok. Tinggi efektif = tinggi balok – ds atau d = h –ds.

Snv = jarak bersih tulangan pada arah vertical (Pasal 7.6.2 SNI 2847-2002) diambil ≥ 25 mm, dan ≥ D.

Sn = jarak bersih tulangan pada arah mendatar (Pasal 7.6.1 SNI 2847-2002) diambil ≥ 25 mm, dan ≥ D, dan disarankan 4/3 $\phi_{agregat\ \text{maks}}$, untuk

memudahkan pengecoran (agar kerikil dapat memasuki celah tulangan).

D = diameter tulangan longitudinal, mm.

ds = jarak titik berat tulangan tarik sampai serat tepi beton bagian tarik. Sebaiknya diambil ≥ 60 mm

2.11 Kait Standar

Kait standar untuk sengkang dan kait pengikat menurut SNI 2847-2013 pasal 7.1.1:

1. Batang tulangan D-16 dan yang lebih kecil, bengkokan 90° ditambah perpanjangan **6*db*** pada ujung bebas kait; atau
2. Batang tulangan D-19, D-22, dan D-25, bengkokan 90° ditambah perpanjangan **12*db*** pada ujung bebas kait; atau
3. Batang tulangan D-25 dan yang lebih kecil, bengkokan 135° ditambah perpanjangan **6*db*** pada ujung bebas batang tulangan.

2.12 Selimut Beton

Untuk menentukan jumlah tulangan serta posisi penempatan tulangan, maka seorang perencana struktur harus memperhatikan lebar penampang balok yang digunakan. Selain itu lebar penampang balok juga harus memperhatikan tentang ketentuan tebal selimut beton yang disyaratkan. Dalam pasal 7.7 SNI 2847:2013 disebutkan bahwa beton cor setempat (non prategang) penampang balok dan kolom dianjurkan mengambil tebal selimut beton setebal 40 mm, sedangkan untuk pelat yang tidak berhubungan langsung dengan tanah dapat diambil selimut beton setebal 20 mm. Dan beton cor setempat (prategang) penampang balok dan kolom tulangan

utama dianjurkan mengambil tebal selimut beton setebal 40 mm, sedangkan balok dan kolom untuk pengikat, sengkang, spiral dapat diambil selimut beton setebal 25 mm.

2.13 Faktor Momen Pikul Maksimum

Nilai faktor momen pikul maksimum (K_{maks}) hanya bergantung pada mutu beton (β_1 dan f'_c) serta mutu baja tulangan (f_y) saja, dan tidak bergantung pada ukuran penampang balok. Oleh karena itu nilai K_{maks} juga dapat ditabelkan seperti terlihat pada tabel 2.2

Tabel 2.2 Faktor momen pikul maksimum (K_{maks}) dalam MPa.

Mutu beton	**Mutu baja tulangan f_y (Mpa)**				
f_c (MPa)	240	300	350	400	450
15	4,4839	4,2673	4,1001	3,9442	3,7987
20	5,9786	5,6897	5,4668	5,2569	5,0649
25	7,4732	7,1121	6,8335	6,5736	6,3311
28	8,3700	7,9656	7,6535	7,3625	7,0908
30	8,8608	8,4291	8,0965	7,7866	7,4976
35	10,0179	9,5200	9,1376	8,7822	8,4514
40	11,0711	10,5103	10,0809	9,6827	9,3129
45	12,0157	11,3959	10,9227	10,4848	10,0787
50	12,8473	12,1730	11,6595	11,1852	10,7463

Sumber: Buku Balok dan Pelat Beton Bertulang oleh Ali Asroni 2017

Catatan untuk tabel 2.2:

Jika mutu beton (f'_c) dan atau mutu baja tulangan (fy) tidak sesuai dengan yang tercantum pada tabel 2.2 diatas, maka faktor momen pikul maksimum ditentukan berdasarkan persamaan 2.2 yaitu:

$$Kmaks = \frac{382{,}5\ \beta 1\ f'c(600+Fy-225\ \beta 1)}{(600+Fy)^2} \quad \text{.....(2.1)}$$

Untuk f'c : (17 ~ 28) Mpa, maka β1 = 0,85

Untuk f'c > 28 Mpa, maka:

$$\beta_1 = 0{,}85 - \frac{0{,}05\ (Fc-28)}{7} \quad \text{.....(2.2)}$$

$tetapi\ \beta 1 \geq 0{,}65.$

Hubungan antara faktor momen pikul K dan faktor momen pikul K_{maks} dalam perencanaan beton bertulang dengan tulangan tunggal, dapat diperjelas lagi sebagai berikut:

1. Jika nilai $K \leq K_{maks}$, maka ukuran penampang balok beton dapat dipakai (sudah cukup), dan balok dapat dihitung dengan tulangan tunggal .
2. Jika nilai $K \geq K_{maks}$, maka balok tidak boleh direncanakan dengan tulangan tunggal, maka harus direncanakan tulangan rangkap.

2.14 Beban

Beban adalah gaya luar yang bekerja pada suatu struktur. Penentuan secara pasti besarnya beban yang bekerja pada suatu struktur selama umur layannya merupakan salah satu pekerjaan cukup sulit. Pada umumnya penentuan besarnya beban hanya merupakan suatu estimasi saja. Meskipun beban yang bekerja pada sutau lokasi dari sturktur dapat diketahui secara pasti, siatribusi beban dari elemn

ke elemen dalam suatu struktur pada umumnya memiliki asumsi dan pendekatan. Jika beban-beban yang bekerja pada suatu struktur telah diestimasi, maka masalah berikutnya adalah mentukan kombinasi-kombinasi beban yang paling dominan yang mungkin bekerja pada strukturn tersebut. Besar beban u=yang bekerja pada suatu struktur diatur oleh peraturan pembebanan yang berlaku. Bebrapa jenis beban yang sering dijumpai antara lain:

1. Beban mati adalah beban gravitasi yang berasal dari berat semua komponen gedung/bangunan yang bersifat permanen selama masa layan struktur tersebut. Termasuk pula ke dalam jenis beban mati adalah unsur-unsur tambahan, mesin serta peralatan tetap yang tak terpisahkan dari gedung tersebut. Selain itu berat sendiri struktur, sistem perpipaan, jaringan listrik, penutup lantai, serta plafon juga termasuk jenis beban mati.
2. Beban hidup termasuk ke dalam kategori beban gravitasi, yaitu jenis beban yang timbul akibat penggunaan suatu gedung selama masa layan gedung tersebut. Beban manusia, peralatan yang dapat dipindahkan, kendaraan bermotor, serta barang/benda lain yang letaknya tidak permanen. Oleh karena besar dan lokasi beban hidup berubah-ubah, maka penentuan beban hidup dengan tepat merupakan suatu hal yang cukup sulit.
3. Beban angin adalah beban yang timbul sebagai akibat adanya tekana dari gerakan angina. Beban angina sangat ditentukan oleh lokasi dan ketinggian dari struktur bangunan. Intensitas tekanan tiup yang

direncanakan dapat diambil minimum sebesar 25 kg/m^2, kecuali untuk kondisi berikut:

a. Tekanan tiup di tepi laut sampai sejauh 5 km fari pantai harus diambil minimum 40 kg/m^2.

b. Untuk bangunan di daerah lain yang kemungkinan tekanan tiupnya lebih dari 40 kg/m^2, harus diambil $P = V^2/16$ (kg/m^2), dengan V adalah kecepatan angina dalam m/s.

c. Untuk cerobong, tekanan tiup dalam kg/m^2 harus ditentukan dengan rumus (42,5 + 0,6h), dengan h adalah tinggi cerobong seluruhnya dalam meter.

Nilai tekanan tiup yang diperoleh masih harus dikalikan dnegan suatu koefisien angin, guna mendapatkan gaya resultan yang bekerja pada struktur.

4. Beban gempa merupakan beban dalam arah horizontal dari struktur yang ditimbulkan oleh adanya gerakan tanah akibat gempa bumi, baik dalam arah vertical maupun horizontal. Pada beberapa kasus umumnya pengaruh gempa dalam arah vertical lebih menentukan dari pada pengaruh gempa arah vertikal. Besarnya gaya gempa yang bekerja pada struktur/bangunan ditentukan berdasarkan persamaan

$V = C_s \times W$ .....(2.3)

Dengan :

C = koefisien respons seismik yang ditentukan berdasarkan respons spectrum pada lokasi bangunan serta jenis sistem struktur yang digunakan.

W = berat seismic efektif yang berisi seluruh beban mati dan beban lainnya yang disyaratkan dalam peraturan mengenai gempa.

2.15 Kombinasi Beban

Setiap komponen harus dirancang sedemikian rupa sehingga mampu memikul beban yang lebih besar daripda beban layan atau beban aktual guna memberikan jaminan terhadap kegagalan struktur. Dalam metode perencanaan berbasis kekuatan *(strength design method*), elemen struktur didessain untuk memikul beban terfaktor, yang diperoleh dengan mengalikan suatu factor beban terhadap beban layan nominal. Karena beban mati dapat diestimasikan secara lebih akurat, maka fakror bebannya dipilih lebih kecil daripada beban hidup. Beban hidup memiliki derajat ketidak pastian yang lebih tinggi dari beban mati.

Besaran faktor beban harus cukup untuk membatasi kegagalan struktur secara tiba-tiba, namun juga harus mengahasilkan struktur yang seekonomis mungkin. Berdasarkan catatan penelitian yang telah dilakukan secara terus menerus, serta berdasarkan pada ilmu-ilmu probabilitas, SNI mengadopsi penggunaan faktor beban sebesar1,2 untuk beban mati, D, dan 1,6 untuk beban hidup, L. Nilai faktor beban mati diambil lebih kecil karena beban mati dapat dihitung dengan kepastian yang lebih tinggi daripada beban hidup.

Berdasarkan persyaratan dalam SNI 2847:2013 pasal 9.2 besarnya kuat perlu, U, yang harus dipertimbangkan sebagai kondisi paling kritis yang harus dipikul suatu elemen strutur.

Kombinasi-kombinasi beban terfaktor tersebut adalah:

1. Kombinasi beban mati:

   U = 1,4 D (Pers. (9-1) SNI Beton) .....(2.4)

2. Kombinasi beban mati dan beban hidup:

   U = 1,2 D + 1,6 L + 0,5(A atau R) (Pers. (9-2) SNI Beton) ....(2.5)

3. Jika pengaruh angin ikut diperhitungkan:

   U = 1,2 D + 1,6 (L atau R) + (L atau 0,5W) .....(2.6)

   U = 1,2 D + W + L + 0,5 (A atau R).....(2.7)

   Atau

   U = 0,9 D + W.....(2.8)

   Diambil pengaruh yang terbesar.

4. Jika pengaruh gempa harus diperhitungkan:

   U = 1,2 D + E + L .....(2.9)

   Atau

   U).9 D + E.....(2.10)

   Dimana :

   D = beban mati

   L = beban hidup

   A = beban hidup atap

   R = beban hujan

   W = beban angin

   E = beban gempa

Kombinasi beban terfaktor lainnya meliputi:

1. Pengaruh impak (SNI 2847:2013 Pasal 9.2.2)

   Bila tahanan terhadap pengaruh impak harus ikut diperhitungkan dalam desian, beban impak disertakan dalam kombinasi pembebanan dengan beban hidup, L.

2. Pengaruh regangan sendiri (SNI 2847:2013 Pasal 9.2.3)

   Bila memungkinkan, efek pada struktur alibat pengaruh suhu, T, harus ikut dikombinasikan dengan beban-beban laingnya. Penentuan faktor beban untuk T harus memperhatikan:

   a. Ketidakpastian besarnya T,

   b. Kemungkinan bahwa efek maksimum pada struktur akibat T dan beban-beban lainnya akan terjadi secara simultan pada saat yang bersamaan, dan

   c. Potensi kerusakan (dan kerugian) yang akan dialami bila efek dari T lebih besar dari yang diasumsikan.

   Faktor beban untuk T tidak boleh diambil kurang dari 1,0.

3. Pengaruh fluida (SNI 2847:2013 Pasal 9.2.4)

4. Pengaruh tekanan lateral tanah (SNI 2847:2013 Pasal 9.2.5)

5. Pengaruh gaya jeking (*jacking*) baja prategang (SNI 2847:2013 Pasal 9.2.7)

2.16 Faktor Reduksi Kekuatan ϕ

Ketidakpastian kekuatan beton terhadap pembebanan pada komponen struktur dianggap sebagai factor reduksi kekuatan ϕ, yang nilainya ditentukan menurut pasal 11.3 SNI 03-2847-2013 sebagai berikut:

1. Struktur lentur tanpa beban aksial (misalnya: balok)

   ϕ = 0, 80

2. Beban aksial dan beban aksial dengan lentur

   a. Aksial tarik dan aksial tarik dengan lentur,

      ϕ = 0,80

b. Aksial tekan dan aksial tekan dengan lentur

i. Komponen struktur dengan tulangan spiral atau Sengkang ikat,

$\phi = 0,70$

ii. Komponen struktur dengan tulangan Sengkang biasa,

$\phi = 0,65$

3. Geser dan torsi

$\Phi = 0,75$

4. Tumpuan pada beton

$\phi = 0,65$

2.17 Material Baja Tulangan

Material beton lemah dalam tarik sehingga material beton digunakan bersama-sama dengan material baja tulangan atau kawat baja yang menahan tegang tarik. Dalam SNI 2847:2013, baja tulangan yang dapat digunakan pada elemen beton bertulang dibatasi hanya pada baja tulangan atau kawat baja saja. Belum ada peraturan yang mengatur penggunaan tulangan selain baja tulangan atau kawat baja tersebut pada beton bertulang.

Tulangan baja yang terdapat dipasaran ada dua jenis, yaitu tulangan polos (BJTP) dan tulangan ulir/sirip (BJTS). Tulangan polos biasanya mempunyai tegangan leleh minimum sebesar 240 MPa sedangkan tulangan ulir umumnya mempunyai tegangan leleh minimum sebesar 400 MPa. Spesifikasi baja tulangan yang umum digunakan di antaranya adalah ASTM A 615M (1993a) dan ASTM A 706 M (1993b).Diameter baja tulangan ulir dapat dilihat pada table 2.3 berikut:

Tabel 2.3 Tulangan Ulir dan Ukurannya

Jenis Tulangan	Diameter nominal (mm)	Berat per m (kg)
D10	10	0,617
D13	13	1,042
D16	16	1,578
D19	19	2,226
D22	22	2,984
D25	25	3,853
D29	29	5,185
D32	32	6,313
D36	36	7.990

Sumber: Buku Perencanaan Struktur Beton Bertulang Oleh Iswandi Imran dan Ediansjah Zulkifli 2018

Dalam aplikasi di lapangan, disarankan untuk menggunakan tulangan baja sirip untuk digunakan sebagai tulangan utama karena karena bentuk penampangnya yangn bersirip mampu mengikatkan lekatan dengan beton serta mengurangi lebar retak beton pada daerah tarik. Ukura diameter tulangan baja yang tersedia di lapangan mulai dari diameter 6 mm, 8, 10, 13, 16, 19, 22, 25 , 29, 32 hingga 50 mm. Mutu baja tulangan ditentukan berdasarkan kuat lelehnya (f_y). Tabel 2.4 memberikan nilai mutu baja tulangan yang dapat digunakan di lapangan.

Tabel 2.4 Mutu Tulangan Baja SNI 03-6861.2-2002, Spesifikasi Bahan Bangunan dari Besi/Baja

Jenis	Simbol	Kuat Leleh minimum, f_y, kg/mm^2 (MPa)	Kuat Tarik minimum, f_u, kg/mm^2 (MPa)
Polos	Bj. TP 24	24 (235)	39 (382)
	Bj. TP 30	30 (294)	49 (480)
Deform	Bj. TD 24	24 (235)	39 (382)
	Bj. TD 30	30 (294)	49 (480)
	Bj. TD 35	35 (343)	50 (490)
	Bj. TD 40	40 (392)	57 (559)
	Bj. TD 50	50 (490)	63 (618)

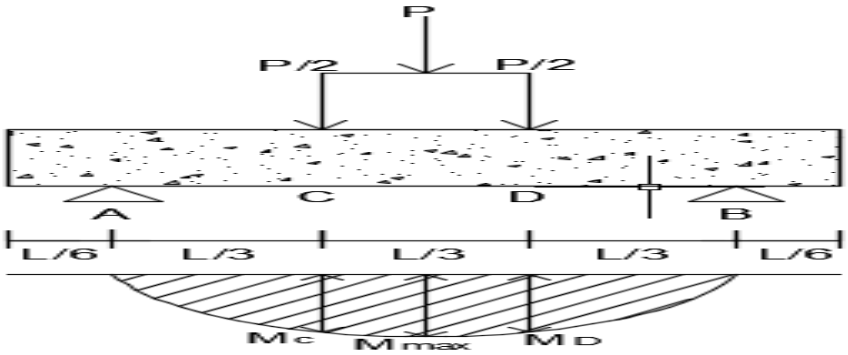
Sumber: Buku Perancangan Struktur Beton Bertulang Oleh Agus Setiawan 2016

2.18 Kuat Lentur Beton Bertulang

Apabila suatu gelagar balok bentang sederhana menahan beban yang mengakibatkan timbulnya momen lentur, akan terjadi deformasi lentur di dalam balok tersebut. Pada kejadian momen lentur positif, tegangan tekan akan terjadi dibagian atas dan tegangan tarik terjadi di bagian bawah dari penampang. Regangan-regangan tersebut mengakibatkan timbulnya tegangan-tegangan yang harus ditahan oleh balok, tegangan tekan di sebelah atas dan tegangan tarik di sebelah bawah. Agar stabilitasnya terjamin, batang balok sebagai bagian dari sistem yang menahan lentur harus kuat untuk menahan tegangan tekan dan tarik tersebut. Untuk memperhitungkan kemampuan dan kapasitas dukung komponen struktur beton terlentur (balok, pelat, dinding dan sebagainya), sifat utama bahwa bahan beton kurang mampu menahan tegangan tarik akan menjadi dasar pertimbangan. Tegangan-tegangan lentur merupakan hasil dari momen lentur luar. Dengan cara memperkuat dengan batang tulangan baja pada daerah dimana tegangan tarik bekerja akan didapat apa yang dinamakan struktur beton bertulang.

Pada saat beton struktur bekerja menahan beban-beban yang dipikulnya, balok beton akan mengalami tegangan-tegangan pada badannya. Salah satu tegangan yang terjadi adalah tegangan tarik akibat lenturan pada serat tepi bawah pada balok dengan tumpuan sederhana. Kekuatan lentur merupakan kekuatan beton dalam menahan lentur yang umumnya terjadi pada balok struktur. Kuat lentur dapat diteliti dengan membebani balok pada tengah-tengah bentang atau pada tiap sepertiga bentang dengan beban titik P seperti terlihat pada Gambar 2.7. Beban ditingkatkan sampai kondisi balok mengalami keruntuhan lentur, dimana retak utama yang terjadi terletak pada sekitar tengah-tengah bentang. Besarnya momen

akibat gaya pada saat runtuh ini merupakan kekuatan maksimal balok beton dalam menahan lentur.



Gambar 2.7 Metode Pengujian Kuat Tarik Lentur

Reaksi Tumpuan

$\sum M_B = 0$

$R_{av} . L - \frac{1}{2} P (\frac{2}{3} L) - \frac{1}{2} P . \frac{1}{3} L - \frac{1}{2} qL^2 = 0$

$R_{av} . L - \frac{2}{6} P . L - \frac{1}{6} P . L - \frac{1}{2} qL^2 = 0$

$R_{av} = \frac{\frac{2}{6} P . L + \frac{1}{6} P . L + \frac{1}{2} qL^2}{L}$

$R_{av} = \frac{3}{6} P + \frac{1}{2} q L$

$R_{av} = \frac{1}{2} P + \frac{1}{2} q L$

$R_{av} = R_{bv}$ (Karena penampang simetris)

Reaksi Momen

$M_A = 0$

$M_C = R_{av} . \frac{1}{3} . L - \frac{1}{2} . q . L^2$

$= (\frac{1}{2} P + \frac{1}{2} q L) . \frac{1}{3} . L - \frac{1}{2} . q . L (\frac{1}{3} L)$

$= \frac{1}{6} P L + \frac{1}{6} q L^2 - \frac{1}{6} q . L$

$= \frac{1}{6}$ P L

M_D $= R_{av} . \frac{2}{3} . L - \frac{1}{2} . q . L^2 - \frac{1}{2} . P (\frac{1}{3} L)$

$= (\frac{1}{2} P + \frac{1}{2} q L) . \frac{2}{3} . L - \frac{1}{2} . q . L (\frac{2}{3} . L) - \frac{1}{6} . P L$

$= \frac{2}{6} P L + \frac{2}{6} q L^2 - \frac{2}{6} q . L^2 - \frac{1}{6} . P L$

$= \frac{1}{6} P L$

M_B $= R_{av} . L - \frac{1}{2} . q . L^2 - \frac{1}{2} . P (\frac{2}{3} L) - \frac{1}{2} . P (\frac{1}{3} L)$

$= (\frac{1}{2} P + \frac{1}{2} q L). L - \frac{1}{2} . q . L^2 - \frac{2}{6} . P L - \frac{1}{6} . P L$

$= \frac{1}{2} P L + \frac{1}{2} q L^2 - \frac{1}{2} q . L^2 - \frac{2}{6} . P L - \frac{1}{6} . P L$

$= \frac{1}{2} P L - \frac{3}{6} . P L$

$= 0$

M_x $= R_a . x - P/2 (x - L/3) - q. x. ½ x$

$= Ra. x - ½ P x + 1/6 P L - ½ q x^2$

$\frac{Dmx}{dx}$ $= 0$

$Ra - q x - ½ P = 0$

$q x = Ra - ½ P$

$q x = (½ P + ½ q L) - ½ P$

$q x = ½ q L$

$x = \frac{½ q L}{q}$

$x = ½ L$

M_{max} $= Ra. \frac{1}{2} L - \frac{P}{2} (x - L/3) - ½ q x^2$

$= 1/2Ra.L - (1/12)P.L - 1/8 qL^2$

$= 1/2L\ (1/2qL+1/2P) – (1/12)PL – 1/8qL^2$

$= 1/8\ qL^2 + (1/6)PL$ .....(2.11)

$M_{max} = M_{nominal\ pengujian}$

2.19 Kuat Lentur Balok Tanpa Tulangan

Pengujian dilakukan pada balok beton yang menunjukkan bahwa kuat tarik ultimit akibat lentur pada umumnya lebih tinggi daripada kuat tarik yang diperoleh dari hasil uji kuat tarik belah. Pembebanan kuat lentur balok tanpa tulangan dilakukan pada 1/3 bentang. Besarnya kuat lentur beton dihitung dengan menggunakan persamaan:

$f_r = \frac{P\ L}{b\ d^2}$.....(2.12)

Dimana:

f_r = Kuat lentur beton (Mpa)

P = Beban batas benda uji (N)

L = Panjang benda uji (mm)

b = Lebar balok (mm)

d = Tinggi balok (mm)

2.20 Modulus Elastisitas Beton

Digunakan rumus nilai modulus elastisitas beton SNI 03 – 2847 - 2002 sebagai berukut:

$Ec = (Wc)^{1.5} \times 0.043\sqrt{f'_c}$ (dalam MPa) .....(2.13)

Dimana :

Wc = berat volume beton (kg/m^3)

fc’ = kuat tekan beton (MPa)

Rumus empiris tersebut hanya berlaku untuk beton dengan berat volume berkisar antara 1500 dan 2500 kg/m^3. Untuk beton kepadatan normal dengan berat volume ± 23 KN/m^3 dapat digunakan nilai

Ec = 4700 x $\sqrt{f'_c}$. (SNI 03 – 2847 - 2002) .....(2.14)

2.21 Analisis dan Desain

Perencanaan komponen struktur beton dilakukan sedemikian rupa sehingga tidak timbul retak berlebihan pada penampanng pada sewaktu mendukung beban bekerja dan masih mempunyai cukup keamanan serta cadangan kekutan untuk menahan beban dan tegangan lebih lanjut tanpa mengalami runtuh. Timbulnya tegangan-tegangan lentur akibat terjadinya momen karena beban luar dan tegangan tersebut merupakan faktor yang menetukan dalam menetapkan dimensi geometris penampang komponen struktur.

Ada 2 jenis perhitungan yang biasa dilakukan dalam evaluasi penampang beton bertulang, yaitu:

1. Analisis

   Pada perhitungan analisis, *resistance*/tahanan atau kapasitas penampang ditentukan brdasarkan data penampang, kuat tekan beton, tegangan leleh baja, ukuran dan jumlah tulangan, serta lokasi tulangan.

2. Desain/Perencanaan

   Pada perhitungan desain, dilakukan pemilihan penampang yang cocok (termasuk disini pemilihan dimensi, f_c', f_y tulangan, dan lain-lain) untuk menahan pengaruh beban terfaktor (seperti M_u).

2.22 Skema Desain Beton Bertulang

1. Menentukan dimensi balok (b, h, d dan ds).

   a. Menentukan lebar dan tinggi penampang balok. Dalam menen tukan tinggi penampang balok jika lendutan tidak diperhitungkan secara detail, maka SNI 2847-2013 Beton di pasal 9.5.2.1 memberikan tinggi penampang (h) minimum pada balok maupun plat seperti tercantum pada tabel 2.5.

Tabel 2.5 Tinggi (h) Minimal Balok Non Pratekan atau Pelat satu arah

Komponen Struktur	Tinggi minimal, h			
	Dua Tumpuan	Satu Ujung Menerus	Kedua Ujung Menerus	Kantiliver
	Komponen yang tidak menahan atau tidak disatukan dengan partisi atau kontruksi lain yang akan rusak karena lendutan yang besar			
Pelat solid satu arah	L/20	L/24	L/28	L/10
Balok atau pelat jalur satu arah	L/16	L/18,5	L/21	L/8

Sumber: Buku Teori dan Desain Balok Pelat Beton Bertulang Oleh Ali Asroni 2017

Jika H_{min} telah diketahui, kita dapat memperkirakan tinggi balok yang akan didesain, biasanya dengan menambahkan 100 sampai 200 mm dari H_{min}. Sementara lebar balok (b), normalnya dapat diambil sekitar 0.4 – 0.6 H_{min}. (Nasution, 2019:21)

b. Selanjutnya menentukan nilai jarak antara pusat berat tulangan tarik dan tepi serat beton tekan (d) dalam mm, dengan rumus sebagai berikut:

$d = H_{min}$ – tebal selimut beton.....(2.15)

SNI juga sudah mengatur tebal selimut beton minimum (pasal 7.7). Tujuan dari selimut beton adalah melindungi tulangan dari "serangan" korosi akibat uap air yang dapat masuk melalui celah-celah beton yang retak. Untuk daerah ekstrim, misalnya daerah dekat laut yang kadar garam uap airnya tinggi, tebal selimut beton harus ditambah.(Nasution, 2019:21)

c. Setelah itu menghitung d_s, jarak antara titik berat tulangan dan tepi serat beton dan d, tinggi efektif penampang balok, dengan rumus sebagai berikut:

$d_s = Sb + \phi$ sengkang + ½ D.....(2.16)

$d = H - d_s$

Dengan:

d_s = jarak antara pusat berat tulangan tarik dan tepi serta beton tarik, mm

S_b = Selimut beton, mm

D = Diameter tulangan, mm

H = Tinggi penampang balok, mm

2. Menentukan mutu bahan beton bertulang (fc' dan fy).
3. Menghitung beban yang bekerja pada balok (Mu untuk menentukan Mn).

$m = \frac{b-2ds}{D+Sn} + 1$ .....(2.17)

$Mu = 1/8\ q\ l^2$ .....(2.18)

4. Menghitung nilai tinggi blok tegangan tekan beton persegi ekuivalen (a) dalam satuan mm, dengan rumus sebagai berikut:

$a = \frac{A_s\ f_y}{0{,}85 \times f_c{}' \times b}$.....(2.19)

Catatan : 0.85 pada persamaan di atas bukan nilai ϕ, juga bukan ß1. 0.85 itu adalah mm. Reduksi kuat tekan beton aktual terhadap kuat tekan beton silinder. Jadi, jika dikatakan beton mutu tekan f 'c 30 MPa, maka beton itu akan mulai hancur pada tekanan 0.85×30 = 25.5 MPa. Angka 0,85 f‘c juga digunakan pada perhitungan desain kolom beton (terhadap beban aksial tekan). (Nasution,2019:22)

5. Menghitung luas tulangan perlu (As) dalam mm^2 dan jumlah tulangan yang dibutuhkan, dengan rumus sebagai berikut:

$As = \frac{0{,}85\ .\ fc\ .a\ .\ b}{fy}$.....(2.20)

$A_s = \frac{\sqrt{fc'}}{4\ fy}$. b . d .....(2.21)

Atau $A_s = \frac{1{,}4}{fy}$. b . d .....(2.22)

$n = \frac{As,u}{\frac{1}{4}.\ \pi\ .D^2}$.....(2.23)

6. Menentukan momen rencana balok.

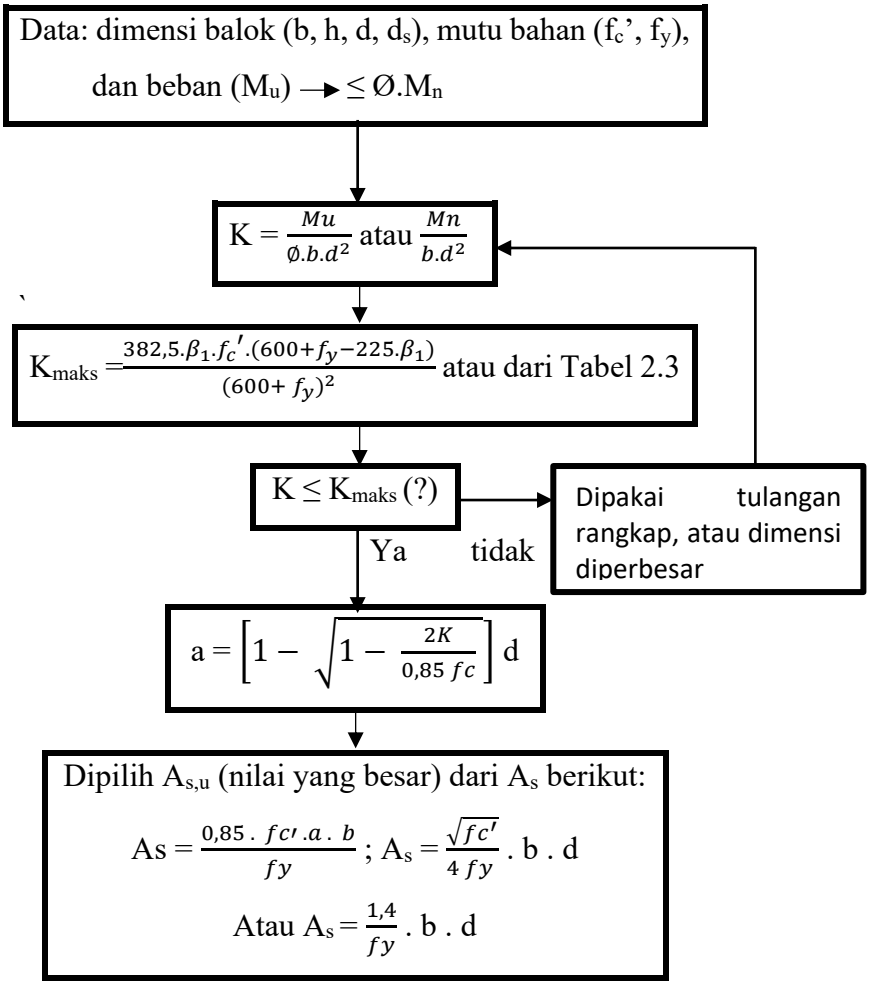
$P = A_s/(b \times d)$ .....(2.24)

$\rho_{min} = \frac{\sqrt{f_c{}'}}{4\ f_y}$.....(2.25)

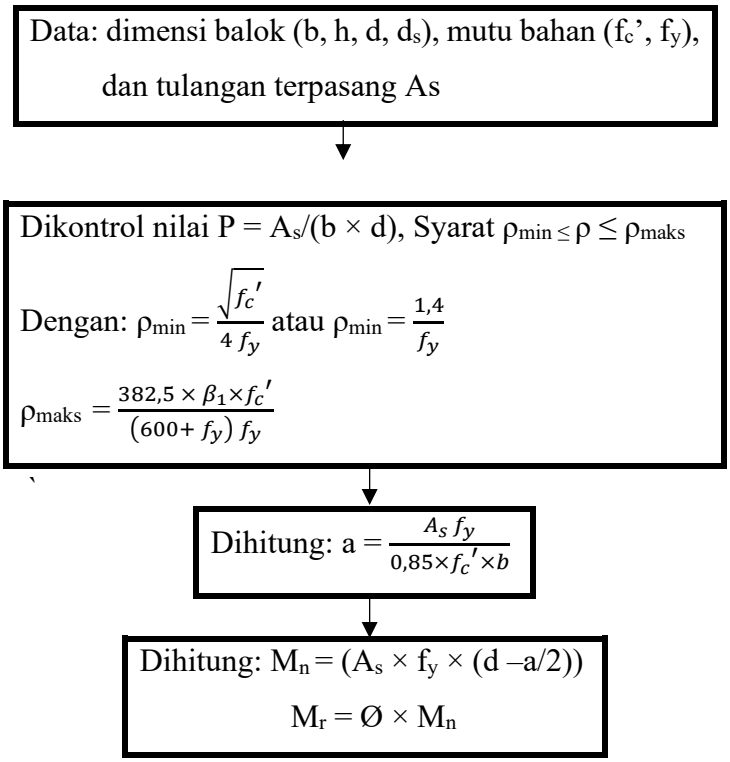
$\rho_{maks} = \frac{382{,}5 \times \beta_1 \times f_c{}'}{(600 + f_y)\ f_y}$ .....(2.26)

$M_n = (A_s \times f_y \times (d - a/2))$ ..... (2.27)

$M_r = Ø \times M_n$ ..... (2.28)



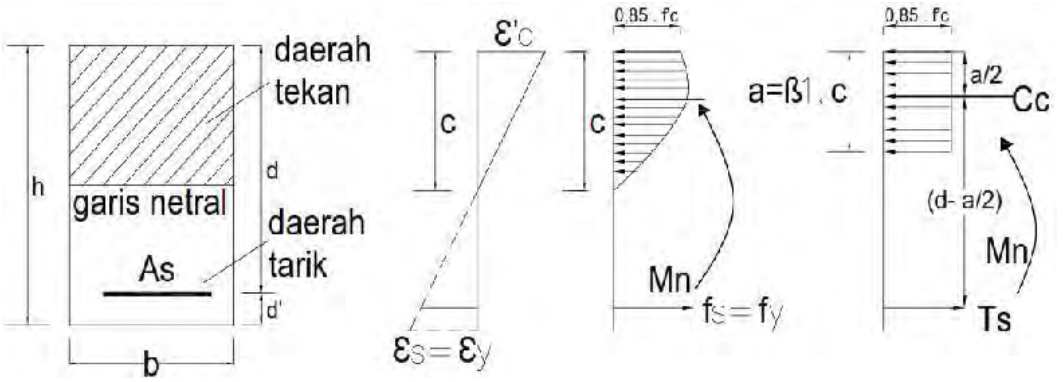
Gambar 2.8 Skema Hitungan Tulangan Longitudinal Balok (Penampang Balok dengan Tulangan Tunggal)
Sumber: Buku Teori dan Desain Pelat Beton Bertulang oleh Ali Asroni 2017



Gambar 2.9 Skema Hitungan Momen Rencana Balok (Penampang Balok dengan Tulangan Tunggal)
Sumber: Buku Teori dan Desain Pelat Beton Bertulang oleh Ali Asroni 2017

2.23 Analisa Penampang Tulangan Tunggal pada Balok

Suatu balok dinyatakan bertulangan tunggal jika pada penampang beton bertulang tersebut hanya diperhitungkan terpasang baja tulangan pada satu sisi saja, yaitu pada bagian serat yang menerima gaya tarik seperti yang ditunjukan pada gambar 2.10



(a) Penampang Melintang Balok (b) Distribusi Regangan (c) Distribusi Tegangan (d) Distribusi Tegangan Tekan Persegi Ekivalen

Gambar 2.10 Distribusi Tegangan dan Regangan pada Penampang Balok
Sumber: Evaluasi perancangan balok beton bertulang dengan menggunakan metode elemen hingga (Skripsi) Oleh Fazadina Alia 2016

Dengan menggunakan semua asumsi di atas, diagram distribusi yang diperlihatkan pada Gambar 2.10, gaya tekan C sebesar 0,85 *f'c* b.a yaitu volume balok tegangan beton tekan pada atau dekat keadaan batas, yaitu bila baja ditarik telah leleh ($\varepsilon_s > \varepsilon_y$). Gaya tarik T dapat ditulis As . *fy* jadi persamaan dapat ditulis:

C = T .....(2.29)

Keterangan: C = Resultan gaya tekan pada beton

T = Resultan gaya tarik pada tulangan

0,85 *f'c*.b. a = As . *fy*.....(2.30)

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0.85 \times f'_c \times b} \quad \text{.....(2.31)}$$

Keterangan: *f'c* = Kuat tekan beton (MPa)

b = Lebar muka tekan komponen struktur

a = Tinggi tegangan pada beton

As = Luas tulangan tarik*fy* = Kekuatan leleh tulangan baja (MPa)

Momen tahanan penampang, yaitu kekuatan nominal Mn :

$$Mn = (As \,.\, fy).z.\ (d - a/2) \text{ atau } Mn = (0{,}85\, f'c.\ b.a).\ (d - a/2) \quad .....(2.32)$$

Keterangan: Mn = Momen nominal

As = Luas tulangan tarik

fy = Kekuatan leleh tulangan baja (MPa)

f'c = Kuat tekan beton

b = Lebar muka tekan komponen struktur

a = Tinggi tegangan pada beton

z = lengan momen, yaitu jarak antara gaya tarik dan tekan yang membentuk kopel yang besarnya

d = Jarak serat tekan ke pusat tulangan tarik

a = Tinggi blok tegangan persegi

Berdasarkan jenis keruntuhan yang dialami dapat dikelompokan ke dalam 3 kelompok sebagai berikut :

1. Penampang Seimbang (*Balance*)

Tulangan tarik mulai tepat pada saat beton mencapat regangan batasnya dan akan hancur karena tekan. Pada awal terjadinya keruntuhan, regangan tekan yang diizinkan pada serat tepi yang tertekan adalah 0,003. Sedangkan regangan baja sama dengan regangan lelehnya, yaitu:

$$E_y = \frac{f_y}{Es'} \quad .....(2.33)$$

Keruntuhan pada beton mendadak karena beton adalah material yang getas. Dengan demikian perencanaan disyaratkan untuk menggunakan sifat penampang *under reinforced* untuk memberikan peringatan yang cukup, seperti akibat defleksi yang berlebihan. Dalam peraturan SNI 2847-2013 disyaratkan tulangan maksimum 75% dari yang diperlukan pada penampang

seimbang dan untuk tulangan minimum sebesar >1,4/*fy* dimana *fy* dinyatakan dalam MPa. Angka tulangan *balance*, hubungan antara tinggi sumbu netral (c) dan tinggi efektif (d) dapat ditulis sebagai berikut :

$$\frac{Cb}{d} = \frac{0.003}{0.003+(\frac{fy}{E_S})} \quad \text{.....(2.34)}$$

Jika Es = 200.000 MPa, maka :

$$\frac{Cb}{d} = \frac{600}{600+f_y} \quad \text{.....(2.35)}$$

Dimana: Cb = Jarak antara garis netral dan tepi serat beton tekan dalam keadaan seimbang

d = Jarak serat tekan ke pusat tulangan tarik

fy = Kekuatan leleh tulangan baja (MPa)

Es = Modulus elastisitas baja tulangan

Hubungan antara tinggi balok tegangan segiempat ekuivalen a dengan sumbu netral c adalah

$a = \beta_1 . C_b$ .....(2.36)

Dimana: a = Tinggi balok tegangan persegi ekivalen

β_1 = Faktor pembentuk tegangan beton tekan persegi ekivalen, yang bergantung pada mutu beton (*f'c*)

C_b = Jarak antara garis netral dan tepi serat beton tekan

Keseimbangan gaya horizontalnya sebagai berikut :

$A_{sb} . fy = 0{,}85 . f'c . b . a_b$ .....(2.37)

Dimana: A_{sb} = Luas tulangan tarik dalam keadaan *balance*

fy = Kekuatan leleh tulangan baja (MPa)

f'c = Kuat tekan beton

b = Lebar penampang balok

a_b = Tinggi tegangan pada beton dalam keadaan seimbang

Sehingga angka tulangan *balance* menjadi:

$$\rho_b = \beta_1 \frac{0.85\, f'_c}{f_y} \frac{600}{600+f_y} \quad \text{.....(2.38)}$$

Dimana:

ρ_b = Rasio As terhadap bd yang menghasilkan kondisi regangan seimbang

ß1= Faktor pembentuk tegangan beton tekan persegi ekivalen, yang bergantung pada mutu beton (f'c)

fy = Kekuatan leleh tulangan baja(MPa)

f'c = Kuat tekan beton (MPa)

Jadi dengan *f'c* dan *fy* diketahui maka angka tulangan yang diizinkan ρ_b dan 0,75. ρ_b dapat langsung diperoleh.

2. Penampang Bertulangan Lemah (*Under Reinforced*)

Keruntuhan ditandai dengan terjadinya leleh pada tulangan baja. Tulangan baja ini terus bertambah panjang dengan bertambahnya regangan di atas. Kondisi ini dapat terjadi apabila tulangan tarik yang dipakai pada balok kurang dari yang diperlukan untuk kondisi *balance* (seimbang). Keadaan ini tulangan tarik akan mendahului regangan luluhnya sebelum beton mencapai regangan maksimum 0,003.

Untuk menjamin daktilitas beton bertulang yang menerima momen lentur sekaligus memperhitungkan terjadinya tegangan-tegangan yang diakibatkan susut, rangkak dan pengaruh suhu, maka SNI 2847-

2013mensyaratkan penggunaan tulangan tarik dengan rasio penulangan minimal

$$\rho_{min} = \frac{\sqrt{f'_c}}{4\, f_y} \quad \text{.....(2.39)}$$

Dan tidak boleh lebih kecil dari:

$$\rho_{min} = \frac{1.4}{f_y} \quad \text{.....(2.40)}$$

Keterangan: ρ_{min} = Rasio minimum As terhadap bd

fy = Kekuatan leleh tulangan baja (MPa)

f'c = Kuat tekan beton (MPa)

3. Penampang Bertulangan Lebih (*Over Reinforced*)

Keruntuhan ditandai dengan hancurnya beton yang tertekan. Pada saat awal keruntuhan, regangan baja ε_s yang terjadi masih lebih kecil daripada regangan lelehnya ε_y. Kondisi ini terjadi apabila tulangan yang digunakan lebih banyak daripada yang diperlukan dalam keadaan *balance* (seimbang). Keretakan beton akan lebih cepat dan akan hancur tanpa diawali dengan gejala peringatan-peringatan terlebih dahulu.

Sehingga dengan analisis geometri pada diagram regangan dapat diperoleh:

$$\frac{\varepsilon_s}{0.003} = \frac{d-c}{c} \quad \text{.....(2.41)}$$

$$\varepsilon_s = \frac{d-c}{c} \quad \text{..... (2.42)}$$

Keterangan: ε_s = regangan tarik baja tulangan

d = Jarak serat tekan ke pusat tulangan tarik (mm)

c = Jarak antara garis netral dan tepi serat beton tekan

Sehingga tegangan pada baja tulangan tarik dapat dihitung:

$f_s = \varepsilon_s \cdot E_s = 0.003 \frac{\beta_1(d-c)}{c} Es$ .....(2.43)

Dimana: fs = Tegangan tarik baja tulangan

ε_s = Regangan tarik baja tulangan

Es = Modulus elastisitas baja tulangan (MPa)

dengan mendistribusikan nilai a = ß1 . c, maka:

$f_s = \varepsilon_s \cdot E_s = 0.003 \frac{\beta_1(d-a)}{a} Es$.....(2.44)

Dimana: fs = Tegangan tarik baja tulangan

ε_s = regangan tarik baja tulangan

Es = Modulus elastisitas baja tulangan (MPa)

d = Jarak serat tekan ke pusat tulangan Tarik (mm)

ß1 = Faktor pembentuk tegangan beton tekan persegi

a = Tinggi tegangan beton tekan persegi ekivalen (mm)

Dengan menerapkan prinsip keseimbangan horizontal maka C = T:

$0.85\ f'_c \cdot b \cdot a = A_s\ f_s = 0.003 \frac{\beta_1(d-a)}{a}\ E_s A_s$ .....(2.45)

Dimana: *f'c* = Kuat tekan beton

b = Lebar muka tekan komponen struktur

As = Luas tulangan tarik

fs = Tegangan tarik baja tulangan

Dimana As = ρ b d.....(2.46)

Sehingga: $\frac{0.85\ f'_c}{0.003\ Es\ \rho}\ a^2 + a\ d - \beta_1\ d^2$ .....(2.47)

Dimana: *f'c* = Kuat tekan beton

ρ = Rasio As terhadap bd

a = Tinggi tegangan pada beton (mm)

ß1 = Faktor pembentuk tegangan beton tekan persegi

Yang dapat diselesaikan dengan formula akar kuadrat *abc*, dan selanjutnya dapat digunakan untuk menghitung kapasitas tampang:

$$M_n = 0{,}85\ f'_c\ b\ a\ (d - \frac{a}{2}) \quad \text{.....(2.48)}$$

Dimana: Mn = Momen nominal aktual penampang balok (KNm)

f'c = Kuat tekan beton (MPa)

b = Lebar muka tekan komponen struktur (mm)

d = Jarak serat tekan ke pusat tulangan Tarik (mm)

Harus diingat bahwa dalam kondisi tulangan kuat (*over reinforced*) keruntuhan diawali dengan rusaknya beton sehingga kegagalan struktur terjadi secara tiba-tiba. Dalam hal perencanaan beton bertulang maka kondisi *over reinforced* harus dihindari dengan alasan keamanan, untuk balok bertulangan tunggal disyaratkan:

$$\rho_{min} \leq \rho \leq \rho_{max} = 0{,}75\ \rho_b \quad \text{.....(2.49)}$$

Dimana: ρ = Rasio As terhadap bd

ρ_{min} = Rasio tulangan minimal

ρ_{max} = Rasio tulangan maksimal

ρ_b= Rasio As terhadap bd dalam keadaan *balance*

Atau: $As_{min} \leq As \leq As_{max} = 0{,}75\ As_b$ .....(2.50)

Dimana: As_{min} = Luas tulangan tarik minimum

As = Luas tulangan tarik

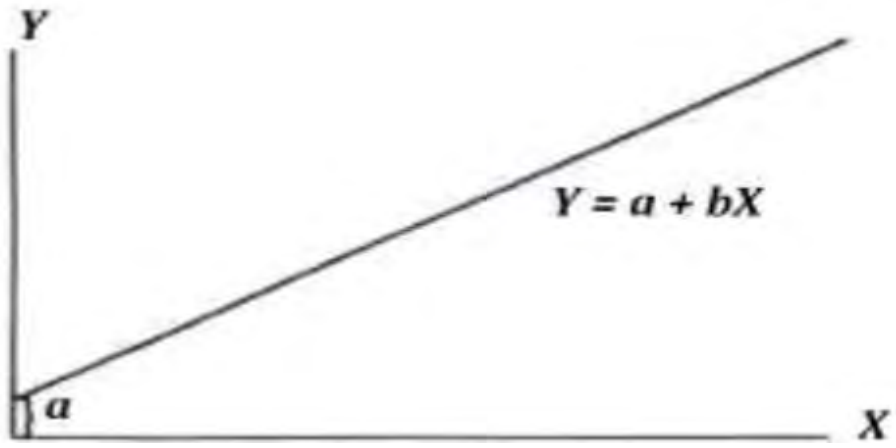
As_{max} = Luas tulangan tarik maksimum

Asb = Luas tulangan tarik dalam keadaan *balance*

m = perbandingan tegangan

2.24 Persamaan Regresi Linier Sederhana

Persamaan regresi linier sederhana merupakan suatu model persamaan yang menggambarkan hubungan satu variabel bebas/ *predictor* (X) dengan satu variabel tak bebas/ *response* (Y), yang biasanya digambarkan dengan garis lurus, seperti disajikan pada gambar 2.11



Gambar 2.11 Ilustrasi Garis Regresi Linier
Sumber: Regresi Linier (Modul) Oleh I Made Yuliara 2016

Persamaan regresi linier sederhana secara matematik diekspresikan oleh :

$\hat{Y} = a + bx$ .....(2.51)

Dimana:

$\hat{Y}$= Garis regresi/ *variable response*

a = Konstanta (*intersep*), perpotongan dengan sumbu vertikal

b = Konstanta regresi (*slope*)

X = Variabel bebas/ *predictor*

Besarnya konstanta *a* dan *b* dapat ditentukan menggunakan persamaan:

$$b = \frac{n(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{n(\sum X^2) - (\sum X)^2} \quad \text{.....(2.52)}$$

$$a = \frac{(\sum Y) - b(\sum X)}{n} \quad \text{.....(2.53)}$$

Dimana:

n = Jumlah data

2.25 Koefisien Determinasi (r^2)

Koefisien determinasi dapat ditentukan dengan mengkuadratkan koefisien korelasi.

$$r^2 = 1 - \frac{\sum(Y-\hat{Y})^2}{\sum(Y-\bar{Y})^2} \quad \text{.....(2.54)}$$

Untuk melakukan interpretasi kekuatan hubungan antara dua variabel dilakukan dengan melihat angka koefisien kolerasi hasil perhitungan dengan menggunakan interpretasi nilai r adalah sebagai berikut:

- 0 : Tidak ada korelasi antara dua variable
- >0 – 0,25 : Korelasi sangat lemah
- >0,25 – 0,5 : Korelasi cukup
- >0,5 – 0,75 : Korelasi kuat
- >0,75 – 0,99 : Korelasi sangat kuat
- 1 : Korelasi sempurna

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Lokasi yang dipilih untuk penelitian adalah Laboratorium Teknik Sipil Universitas Medan Area dan Laboratorium Beton Teknik Sipil Universitas Sumatera Utara. Waktu penelitian direncanakan berlangsung selama 5 bulan, terhitung dari bulan Mei 2019 sampai September 2019.

3.2 Tahap Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini direncanakan menggunakan beberapa tahapan kerja, yang diuraikan sebagai berikut :

3.2.1 Tahap I

Mempersiapkan peralatan dan bahan, yang meliputi pemeriksaan ketersediaan peralatan dan melakukan penyediaan bahan pembentuk beton, menyiapkan bahan untuk tulangan.

a. Bahan Pengujian

1. Semen yang digunakan dalam pembuatan beton adalah semen Portland PC Tipe I, semen Padang dengan berat 40 kg/zak.
2. Agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini adalah alami dan agregat kasar yang digunakan adalah batu pecah mesin ukuran 40 mm.
3. Air yang digunakan dalam penelitian ini adalah air yang ada di Laboratorium Beton Teknik Sipil Universitas Medan Area.

4. Tulangan baja yang digunakan berupa baja polos dengan diameter 8 mm dan 10 mm, berasal dari toko bahan bangunan di kota Medan, Sumatera Utara.

Gambar 3.1 BJTP diameter 8 mm dan diameter 10 mm
Sumber: Penelitian 2019

5. Papan multiplek untuk bekisting cetakan balok beton bertulang
6. Kawat digunakan untuk mengikat tulangan.

b. Peralatan Pengujian Bahan

1. Satu set ayakan agregat halus dan agregat kasar untuk pengujian gradasi pasir dan gradasi agregat kasar.
2. Timbangan dengan kapasitas 500 gram dan ketelitian 0,1 gram untuk menimbang pasir dan batu pecah ukuran 20 mm.
3. Neraca analisis dengan kapasitas 2000 gram digunakan untuk menentukan berat batu pecah.
4. Timbangan dengan kapasitas 45 kg, untuk menimbang benda uji.

5. Mesin ayakan yang digunakan untuk mengayak agregat halus dan agregat kasar.
6. Corong konic dengan ukuran diameter atas 3,8 cm, diameter bawah 8,9 cm, tinggi 7,8 cm dan tongkat baja sebagai alat tumbuk seberat 336 gram. Alat ini digunakan untuk mengukur keadaan SSD (kering permukaan) agregat halus.
7. Loyang aluminium untuk tempat agregat di dalam oven
8. Gelas kaca ukuran 1000 cc dan 500 cc untuk mengukur volume air yang digunakan.
9. Oven dengan kemampuan sampai 240 C, untuk mengeringkan bahan agregat.

c. Alat-alat untuk Pembuatan Beton, yaitu :

1. *Mixer* untuk mencampur air, semen, pasir, dan batu pecah.
2. Kerucut Abram dari baja dengan diameter atas 16 cm, diameter bawah 20 cm. Alat ini digunakan untuk menentukan nilai slump adukan beton.

Gambar 3.2 Kerucut Abram
Sumber: Penelitian 2019

3. Timbangan untuk menentukan ukuran berat semen, pasir, agregat, dan air.
4. Cetok untuk mengisi adukan beton kedalam cetakan beton dan krucut Abram.
5. Vibrator/alat rojok/tongkat baja untuk membantu proses pemadatan beton dalam cetakan beton.

d. Peralatan Pengujian Benda Uji.

1. *Tarnotest Prifsysteme* untuk alat uji kuat tarik baja.
2. Alat uji tekan untuk menguji kuat tekan.
3. *Manometer* untuk mengetahui besarnya beban (P).
4. *Hiudroulic jack* kapasitas 25 ton untuk memberi beban.
5. Mesin uji kuat lentur dengan alat pembagi beban menjadi dua beban yang sama besar.

Gambar 3.3 *Manometer* dan *Hiudroulic Jack* dengan Alat Pembagi Beban Menjadi Dua Beban yang Sama Besar
Sumber: Penelitian 2019

e. Standar Pengujian Bahan

1. Pengujian gradasi agregat halus dan agregat kasar menggunakan standar ASTM C33/C33M-11A. Pengujian

dilakukan di Laboratorium Beton Teknik Sipil, Universitas Medan Area.

2. Pengujian kandungan lumpur pasir dan agregat kasar menggunakan standar SK-SNI-S-04-1989-F tentang "metode pengujian kandungan lumpur agregat".
3. Pemeriksaan berat jenis agregat halus menggunakan standar pengujian SK SNI 03-1970-2008 tentang "Metode pengujian berat jenis agregat halus". Berat jenis agregat kasar menggunakan standar pengujian SK SNI 03-1969-2008 tentang "Metode Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar"

3.2.2 Tahap II

Melakukan pengujian terhadap bahan-bahan, baik yang digunakan untuk beton maupun tulangannya.

3.2.3 Tahap III

Melakukan perencanaan campuran *(mix design)* berdasarkan data yang diperoleh dari penelitian tahap II, diteruskan pembuatan bekisting, perakitan tulangan, pembuatan adukan beton, pengujian nilai *slump* dan dilanjutkan dengan pembuatan benda uji normal dengan penentuan fc' beton yang dihasilkan dan pembuatan beton dengan penambahan spiral tulangan.

a. Perencanaan Campuran Beton
    1. Perencanaan kuat tekan beton ditetapkan pada umur 28 hari.

2. Penetapan nilai deviasi standar (**s**). Deviasi standar ditetapkan berdasarkan tingkat mutu pengendalian dalam pelaksanaan pencampuran semakin kecil nilai deviasi standarnya. Penetapan nilai deviasi standar ini didasarkan pada hasil pengalaman praktek pada waktu yang lalu dengan syarat kualitas dan bahan yang digunakan harus sama.

   a) Jika pelaksana tidak mempunyai data pengalaman atau mempunyai pengalaman kurang dari 15 buah benda uji, maka nilai deviasi standar diambil dari tingkat pengendalian mutu pekerjaan.

   b) Jika pelaksana mempunyai data pengalaman pembuatan beton serupa minimum 30 buah silinder yang diuji kuat tekan rata-ratanya pada umur 28 hari, maka jumlah data dikoreksi terhadap nilai deviasi standar dengan suatu faktor pengali. Menurut rumus:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad \text{.....(3.1)}$$

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{n} Xi}{n} \quad \text{.....(3.2)}$$

Dengan:

S = Deviasi standar

Xi = Kuat tekan beton yang didapat dari masing masing benda uji

$\bar{X}$ = Kuat tekan beton rata-rata

n = Jumlah nilai hasil uji, yang harus diambil minimum 30 buah (satu hasil uji adalah nilai uji rata-rata dari 2 buah benda uji).

Tabel 3.1 Faktor Pengali Deviasi Standar

Jumlah Pengujuan	Faktor Pengali Deviasi Standar
Kurang dari 15	Tabel 3.2
15	1,16
20	1,08
25	1,03
30 atau lebih	1,00

Sumber: SNI 03-2847-2002

Tabel 3.2 Kuat tekan rata-rata perlu jika data tidak ada untuk menetapkan nilai deviasi standard

Persyaratan Kuat Tekan, f'c (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata Perlu,f'cr (MPa)
Kurang dari 21	f'c + 7,0
21-35	f'c + 8,5
Lebih dari 35	f'c + 10,0

Sumber: SNI 03-2847-2002

3. Menghitung nilai tambah (M)

Jika tidak mempunyai data pengalaman pembuatan beton atau mempunyai pengalaman kurang dari 15 benda uji, nilai M lihat ditabel 3.2. Jika nilai tambah dihitung berdasarkan deviasi standar Sr, maka dilakukan dengan rumus berikut:

$M = 1{,}64 \times Sr$ .....(3.3)

Dengan:

M = Nilai tambah, Mpa

Sr = Deviasi standar, MPa

1,64 = Tetapan statistic yang nilainya tergantung pada persentase kegagalan hasil uji sebesar maksimum 5 %

4. Menetapkan nilai kuat tekan rata-rata yang harus direncanakan dengan menggunakan rumus:

   f'cr = f'c + M.....(3.4)

   f'cr = f'c + 1,64 Sr.....(3.5)

   Dimana:

   f`cr = Kekuatan tekan rata-rata (MPa)

   f`c = Kekuatan tekan karakteristik (MPa)

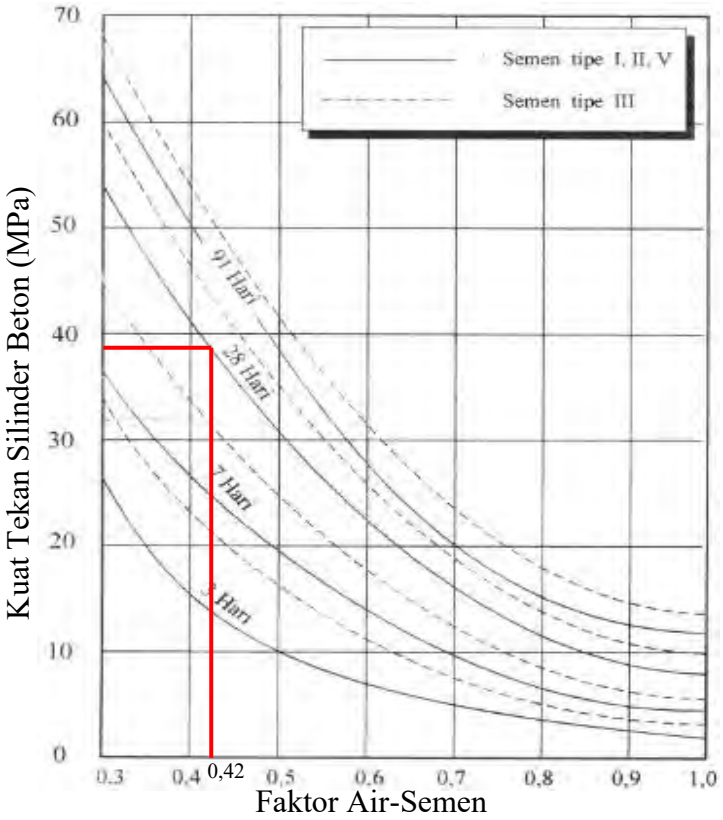
   Maka: f'cr = 30 + 8,5 = 38,5 MPa

5. Menetapkan Jenis Semen (Semen Tipe I, II, III, IV, atau V). Semen yang digunakan pada penelitian ini adalah semen Portland Tipe 1.

6. Menetapkan agregat halus dan agregat kasar yang digunakan. Pada penelitian ini agregat yang digunakan agregat alami. Sedangkan agregat kasar yang digunakan batu pecah.

7. Menetapkan nilai faktor air semen (fas); untuk tahapan ini biasa dilakukan dengan dua cara yaitu:

   a) Cara pertama: Berdasarkan kuat tekan rata-rata silinder beton yang direncanakan pada umur tertentu berdasarkan gambar 3.4.

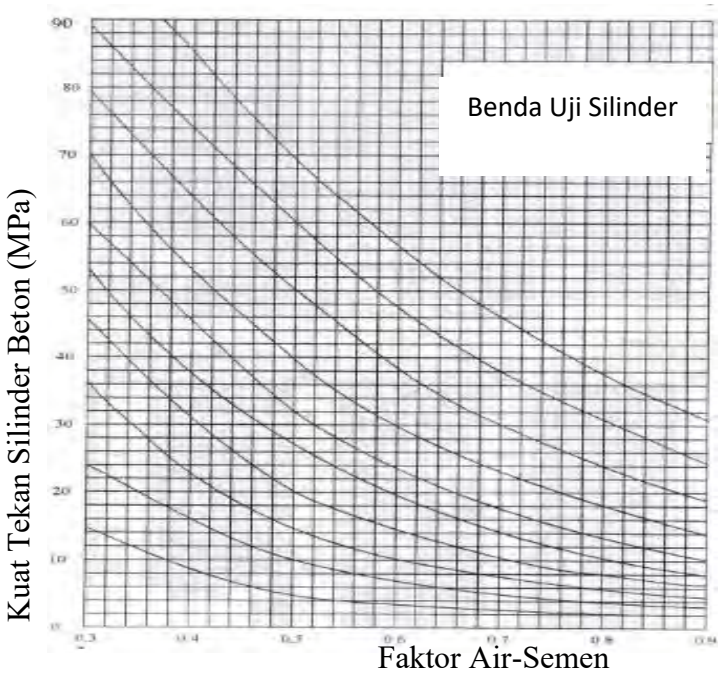


Gambar 3.4 Hubungan Faktor Air Semen dan Kuat Tekan Silinder

b) Cara kedua: Berdasarkan jenis semen yang digunakan, jenis agregat kasar, dan kuat tekan rata-rata beton yang direncanakan pada umur tertentu, dapat ditetapkan nilai faktor air-semen dari Tabel 3.3 dan Gambar 3.5, dengan langkah-langkah sebagai berikut: Berdasarkan data jenis semen, jenis agregat kasar, dan umur beton rencana, dengan kuat tekan yang akan diperoleh dari tabel dibawah ini, jika dipakai faktor air semen, sebesar 0,50.

Tabel 3.3 Perkiraan Kuat Tekan Beton (MPa) dengan FAS 0,5

Jenis Semen	Jenis Agregat Kasar	Umur (Hari)			
		3	7	28	91
Semen Portland (Tipe I, II, V)	Alami	17	23	33	40
	Batu Pecah	19	27	37	45
Semen Portland Tipe III	Alami	21	28	38	44
	Batu Pecah	25	33	44	48



Gambar 3.5 Hubungan Faktor Air Semen dan Kuat Tekan Silinder

8. Menetapkan nilai faktor air semen maksimum. Agar beton yang diperoleh awet dan mampu bertahan terhadap pengaruh lingkungan sekitarnya, perlu ditetapkan nilai fas maksimum menurut Tabel 3.4. Apabila nilai fas maksimum ini lebih rendah dari pada nilai fas yang diperoleh dari gambar, maka nilai fas maksimum ini yang digunakan

untuk langkah selanjutnya. Dengan kata lain, nilai fas yang terkecil dari langkah Tabel maka yang akan digunakan untuk tahap selanjutnya:

Tabel 3.4 Persyaratan Nilai fas Maksimum untuk berbagai Pembetonan

Jenis Pembetonan	Fas Maksimum	Semen Minimum (kg/m^3)
Beton di dalam ruang bangunan:		
a. Keadaan sekeliling nonkorosif	0,6	275
b. Keadaan sekeliling korosif akibat kondensasi atau uap korosi	0,52	325
Beton di luar ruang bangunan:		
a. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	0,55	325
b. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	0,6	275
Beton di luar ruang bangunan		
a. Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	0,55	325
b. Mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah	Lihat Tabel	Lihat Tabel
Beton yang berhubungan dengan air tawar/payau/laut	Lihat Tabel	Lihat Tabel

Sumber: SNI 03-2843-2000

9. Menetapkan nilai *slump* dengan memperhatikan jenis strukturnya agar proses pembuatan, pengangkutan, penuangan, pemadatan mudah dilaksanakan.

Tabel 3.5 Penetapan Nilai Slump

Pemakaian Beton	Maksimum (cm)	Minimum (cm)
Dinding, Pelat Pondasi dan Pondasi Telapak Bertulang	12,5	5,0
Pondasi Telapak Tidak Bertulang, Kaison, dan Struktur di bawah Tanah	9,0	2,5
Pelat, balok, Kolom, dan Dinding	15	7,5
Perkerasan Jalan	7,5	5,0
Pembetonan Masal	7,5	2,5

Sumber: SNI 03-2834-2000

10. Ukuran agregat maksimum tidak boleh melebihi:
    a) 1/5 jarak terkecil antara bidang-bidang samping dari cetakan;
    b) 1/3 dari tebal pelat;
    c) 3/4 dari jarak bersih minimum di antara batang-batang atau berkas-berkas tulangan.
11. Kadar air bebas ditentukan dari Tabel,
    a) Agregat tak dipecah dan agregat dipecah digunakan nilai-nilai pada tabel 3.5 dan gambar grafik
    b) Agregat campuran (tak dipecah dan dipecah), dihitung menurut rumus berikut:

Maka jumlah air yang diperlukan:

$\frac{2}{3}$ Wh + $\frac{1}{3}$ Wk.....(3.6)

Dengan:

Wh = Perkiraan jumlah air untuk agregat halus

Wk = Perkiraan jumlah air untuk agregat kasar

Tabel 3.6 Perkiraan Kebutuhan Air (liter) Per Meter Kubik Beton

Ukuran Agregat Maksimum (mm)	Jenis Batuan	Slump (mm)			
		0-10	10-30	30-60	60-180
10	Alami	150	180	205	225
	Batu Pecah	180	205	230	250
20	Alami	135	160	180	195
	Batu Pecah	170	190	210	225
40	Alami	115	140	160	175
	Batu Pecah	155	175	190	205

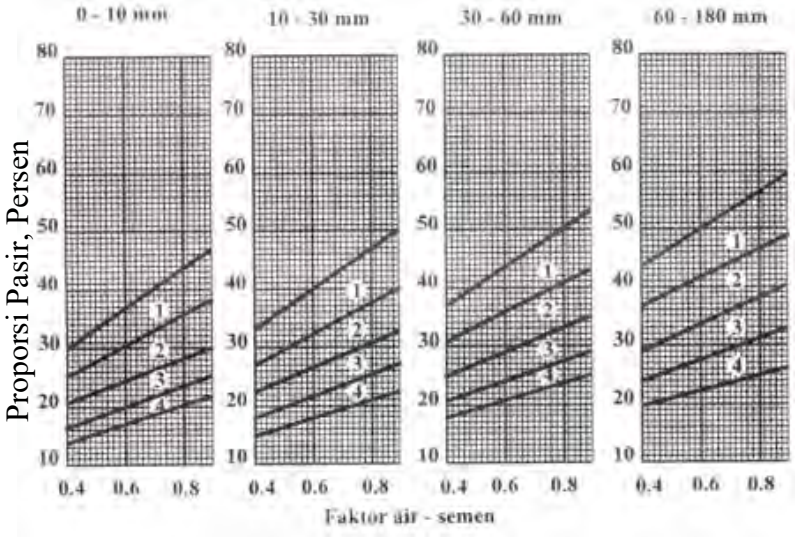
Sumber: SNI 03-2834-2000

12. Kadar semen didapat dari Jumlah air/Faktor air semen.
13. Kadar Semen Maksimum jika tidak ditetapkan, dapat diabaikan.
14. Kadar Semen Minimum dari tabel 3.4 agar diperoleh beton yang awet dan tahan terhadap zat agresif yang terdapat di lingkungan sekitarnya.
15. Penyesuaian kebutuhan semen (langkah 14 menghasilkan kebutuhan semen lebih kecil dari hitungan pada langkah 12, sedangkan kebutuhan semen harus didasarkan pada hasil

tertinggi dari langkah 12 dan 14, sehingga tetap dipakai kebutuhan semen langkah 12).

16. Penyesuaian faktor air semen langkah 15.

17. Menentukan daerah Gradasi agregat halus.



Gambar 3.6 Grafik Persentase Agregat Halus Terhadap Agregat Keseluruhan dengan Ukuran Butir Maksimum 40 mm

18. Prosentase agregat halus dicari dengan menggunakan gambar berdasarkan ukuran butiran maksimum, nilai slump, faktor air semen dan susunan butir agregat halus.

19. Nilai yang digunakan dapat diambil diantara kedua nilai tersebut, biasanya diambil nilai rata-rata.

20. Berat Jenis Relatif Agregat, yang dimaksud adalah berat jenis agregat gabungan.

$$\text{Bj.campuran} = \left(\left(\frac{P}{100}\right) \times \text{Bj}_h\right) + \left(\left(\frac{K}{100}\right) \times \text{Bj}_k\right) \ldots\ldots\ldots (3.7)$$

Dimana :

BJ_h = Berat jenis agregat campuran camp

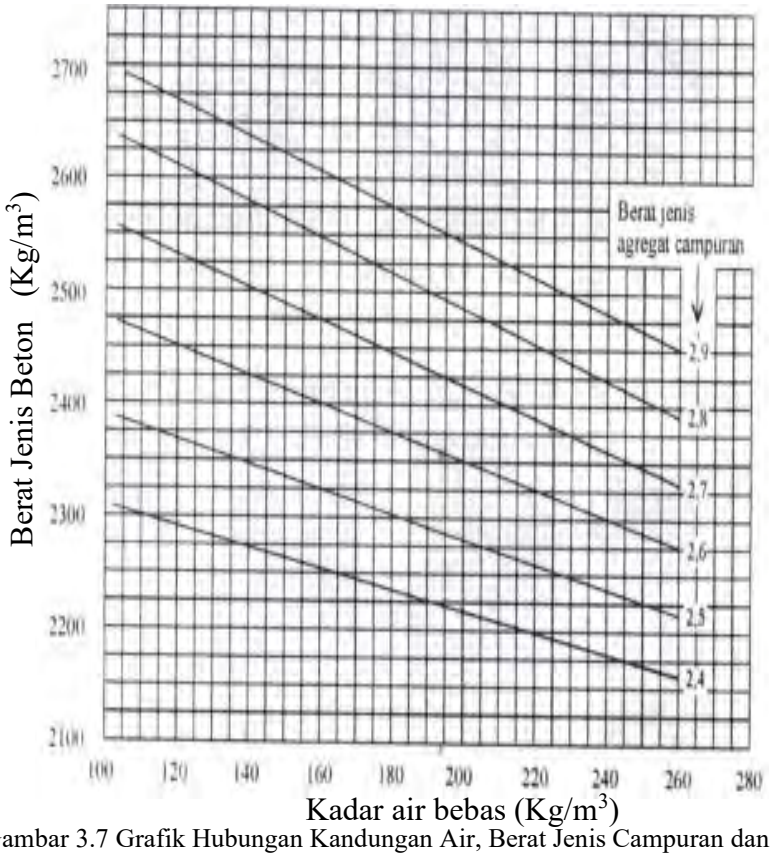
BJ_h = Berat jenis agregat halus

BJ = Berat jenis agregat kasar

P = Persentase agregat halus terhadap agregat campuran

K = Persentase agregat kasar terhadap agregat campuran

21. Berat Isi Beton dicari dengan menggunakan Gambar 3.7, sesuai dengan BJ agregat gabungan dan kadar air bebas



Gambar 3.7 Grafik Hubungan Kandungan Air, Berat Jenis Campuran dan Berat Beton

22. Kebutuhan agregat gabungan = Bj Beton Basah – (Kebutuhan Semen − Kadar air)

23. Kebutuhan agregat halus = prosentase agregat halus × kadar agregat gabungan

24. Kebutuhan agregat kasar = kebutuhan agregat gabungan – kebutuhan agregat halus

25. Koreksi terhadap kondisi bahan. Koreksi ini dilakukan minimal karena pasir dan kerikil dianggap dalam keadaan jenuh kering (SSD), padahal dilapangan tidak dalam keadaan jenuh kering, maka perhitungan dikoreksi dengan rumus:

$$\text{Air} = A - \frac{A_h - A_1}{100} \times B - \frac{A_k - A_2}{100} \times C \quad \text{.....(3.8)}$$

$$\text{Pasir} = B + \frac{A_h - A_1}{100} \times B \quad \text{.....(3.9)}$$

$$\text{Kerikil} = C + \frac{A_k - A_2}{100} \times C \quad \text{.....(3.10)}$$

Dimana:

A = Jumlah kebutuhan air (L/m^3)

B = Jumlah kebutuhan pasir (L/m^3)

C = Jumlah kebutuhan kerikil (L/m^3)

Ah = Kandungan air dalam pasir (%)

Ak = Kandungan air dalam kerikil (%)

A_1 = Kandungan air pada pasir jenuh kering muka (%)

A_2 = Kandungan air kerikil jenuh kering muka (%)

Jadi bahan-bahan yang diperlukan adalah:

26. Untuk percobaan 5 benda uji balok, maka volume benda uji:

$$\text{Persegi panjang} = 5 \times (1/4 \times \pi \times d^2 \times t) \quad \text{.....(3.11)}$$

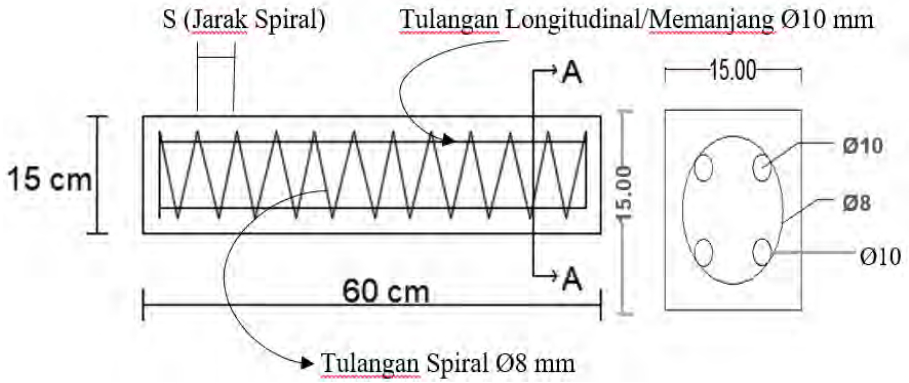
b. Pembuatan Bekisting

Bekisting adalah cetakan sementara yang digunakan sebagai pembentuk balok sesuai dengan bentuk yang diinginkan. Pada penelitian ini bekisting yang digunakan multiplek dengan ukuran dimensi 15 × 15 × 60 cm.

Gambar 3.8 Bekisiting
Sumber: Penelitian2019

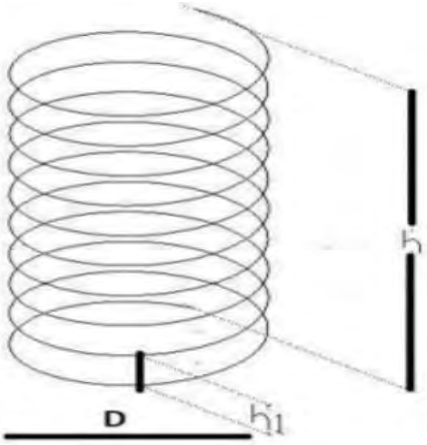
c. Pemotongan dan Pembengkokan Tulangan

Pemotongan tulangan sepanjang 56 cm dengan Ø10 mm untuk tulangan utama, tulangan Ø8 mm dengan jarak 2.5 cm sepanjang 7.8 m, tulangan Ø8 mm dengan jarak 5 cm sepanjang 3.9 m, tulangan Ø8 mm dengan jarak 10 cm sepanjang 2 m. Pemotongan dilakukan dengan alat bar cutter. Pembengkokan dilakukan dengan cara memutar tulangan pada tiang baja yang tertanam dalam tanah.



Gambar 3.9 Pemasangan Tulangan Lentur Balok dan Potongan A-A
Sumber: Penelitian 2019

Rumus panjang lilitan spiral:



Gambar 3.10 Tulangan Spiral
Sumber: https://www.slideshare.net/AnggaNugraha15/cara-menghitung-kebutuhan-besi-pada-pekerjaan-bore-pile-dan-strauss-pile

$$L = \sqrt{\left(\pi \frac{h}{h_1} D\right)^2 + h^2} \quad \text{.....(3.12)}$$

Dengan : L = Panjang lilitan (m)

Π = 22/7 atau 3.14

D = Diameter beton dikurangi beton decking (m')

h = Kedalaman cor (m')

h_1 = Jarak antar begel (m')

d. Pemasangan Tulangan

Sebelum pemasangan tulangan, peneliti perlu memperhatikan beberapa hal: tulangan harus bebas dari kotoran, lemak, kulit gilingan baja, karat dan bahan-bahan yang dapat mengurangi daya lekat baja beton. Pemasangan tulangan harus dipasang sedemikian rupa sehingga sebelum dan selama pengecoran beton tidak berubah dari tempatnya dan memperhatikan tebal selimut beton dan penempatan/elevasi tulangannya.

e. Pengecoran Balok Beton

Setelah pemasangan tulangan, maka dilakukan pengecoran balok dengan cara menuangkan campuran kedalam cetakan beton yang sudah dipasang. Campuran beton dimasukkan sedikit demi sedikit yaitu masukkan 1/3 campuran beton lalu dirojok sebanyak 25 kali, dilakukan sampai selesai, kemudian diratakan sambil memukul sisi-sisi cetakan dengan palu karet. Guna rojok dan memukul sisi-sisi cetakan adalah untuk mengurangi rongga-rongga udara yang ada didalam beton.

Gambar 3.11 Pengecoran Balok Beton
Sumber: Penelitian 2019

f. Pembongkaran Bekisiting

Pembongkaran bekisting dilakukan setelah beton mengeras selama ±24 jam. Jika pembongkaran dilakukan sebelum waktu maka beton akan mengalami kerusakan/cacat.

3.2.4 Tahap IV

Perawatan beton adalah suatu pekerjaan menjaga agar permukaan beton selalu lembab sejak adukan beton dipadatkan sampai beton dianggap cukup keras. Hal ini dimaksudkan untuk menjamin agar proses hidrasi dapat berlangsung dengan baik dan proses pengerasan terjadi dengan sempurna sehingga tidak terjadi retak-retak pada beton dan mutu beton dapat terjamin.

Pada penelitian ini perawatan dilakukan dengan melepas cetakan beton setelah berumur dua hari dan merendam dalam bak air, sampai beton berumur 28 hari.

Gambar 3.12 Perendaman Benda Uji di dalam Bak Air Selama 28 Hari
Sumber: Penelitian 2019

3.2.5 Tahap V

Pengujian kuat tarik baja dan kuat lentur balok yang dilakukan pada umur 28 hari.

a. Pengujian Kuat Tarik Baja

Tujuan pengujian kuat tarik baja berdasarkan SNI 07-2529-1991 adalah untuk mendapatkan nilai kuat tarik baja dan parameter lainnya yang dapat digunakan untuk pengendalian mutu baja. Tegangan leleh baja dihitung dengan persamaan berikut ini:

$$f_y = \frac{P_y}{A_s} \quad \text{.....(3.13)}$$

Dengan:

fy = Tegangan leleh baja (MPa)

Py = beban leleh (N)

As = luas tampang baja (mm^2)

b. Pengujian Kuat Lentur Balok

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai kuat tarik lentur (*flexural strength*) pada benda uji yang berupa balok dengan ukuran 15 x 15 x 600 cm dengan bentang perletakan 45 cm. Pengujian ini dilakukan berdasarkan standar ASTM C-78, yaitu metode pengujian kuat lentur dengan bentang terbagi menjadi dua yang bekerja pada tiap jarak 1/3 bentang.

a. Balok beton yang akan diuji diambil dari tempat perawatan.
b. Pengujian dilakukan diatas *loading frame* yang terbuat dari profil baja yang didesain dengan perletakan sederhana

(sendi-rol) untuk menguji kekuatan lentur balok dengan panjang bentang 60 cm dan penampang berbentuk persegi empat berdimensi 15 × 15 cm.

c. Memasang *dial gauge* di bawah balok pada tengah bentang.
d. Mesin pembebanan dijalankan secara elektris dengan peningkatan beban yang konstan.
e. Pembebanan dilakukan hingga balok beton retak dan dicatat besarnya beban tertinggi yang telah mematahkan balok uji dengan cara membaca jarum di manometer (*dial*).
f. Dilakukan pengamatan dan pengukuran letak patah pada balok beton.

3.2.6 Tahap VI

Analisa terhadap hasil yang diperoleh dari pengujian *slump,* kuat tekan beton normal, dan momen lentur beton benda uji dengan penambahan spiral tulangan.

3.2.7 Tahap VII

Menarik kesimpulan berdasarkan analisis data. Metode yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan perhitungan berdasarkan beberapa peraturan SNI 03-2847-2013.

DAFTAR PUSTAKA

Apri Purwo Saputra, 2004. *Kuat Lentur Balok Beton Bertulang dengan Tambahan Kaolin pada Berbagai Temperatur* (Skripsi). Fakultas Teknik. Jurusan Teknik Sipil. Universitas Sebelas Maret, Surakarta

Agus, S. 2016. *Perancangan Struktur Beton Bertulang Beradasarkan SNI 2847:2013*. Jakarta: Erlangga

Asni Tandilino, 2018. **(***Jurnal) Kapasitas Lentur Balok Beton Bertulang Sistem Rangka dengan Variasi Jarak Spasi*, Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Makassar

Asroni, H. Ali. 2017. *Balok dan Pelat Beton Bertulang*. Yogyakarta: Graha Ilmu

Bambang, 2011. Pengaruh Jarak Sengkang Spiral Terhadap Kuat Tekan Beton, Semarang: Universitas Negeri Semarang

Buen Sian, dkk. 2013. *Uji Eksperimental Kuat Lentur Balok dan Pelat Beton Bertulang dengan Agregat Kasar dan Halus Beton Daur Ulang.*Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat. Universitas Katolik Parahyangan

Departemen Pekerjaan Umum, 2002. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-2002),* Panitia Teknik Standardisasi Bidang Konstruksi dan Bangunan: Bandung.

Diar Fajar Hariawan, 2013. (Naskah Publikasi) *Tinjauan Kuat Geser Kombinasi Sengkang "Alternatif" dan Sengkang "U" atau "n" dengan Pemasangan Secara Vertikal Pada Balok Beton Sederhana*, Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta

Ramadani, Heryah. 2019. Analisis Pengaruh Penambahan Serat Bambu Terhadap Kuat Tarik Belah Beton dengan Fas 0.4 Dan 0.6 (Skripsi). Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Universitas Medan Area, Medan

Imran, Iswandi dan Zulkifli, Ediansjah. 2018. *Perencanaan Dasar Struktur Beton Bertulang*. ITB Press: Bandung

Istimawan, Dipohusodo, 1994. *Struktur Beton Bertulang*. Jakarta: Gramedia

Jaafar, K. (2013). Utilising confinement reinforcement for shear resistance in reinforced concrete structures. Magazine of Concrete Research, 65 (4), 220-233.

Junaidi. 2010. Titik Persentase Distribusi F. http://junaidichaniago.wordpress.com

Nasution, Yunita Ariani. 2019. *Perbandingan Kuat Geser antara Sengkang Konvensional dan Sengkang "U" Pada Balok Beton Bertulang* (Skripsi). Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Universitas Medan Area, Medan

Puspitasari, 2010. Rekayasa Penulangan Geser Balok Beton Bertulang Dengan Menggunakan Sengkang Vertikal Model "U", Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta

Saputra, Apri Purwo. 2004. Kuat Lentur Balok Beton Bertulang dengan Tambahan Kaolin pada Berbagai Temperatur. Surakarta: Universitas Sebelas Maret

SNI 03-2847-2013. 2013 *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung.* Badan Standarisasi Nasional: Jakarta.

Sutrisno, Bambang. 2013. (Naskah Publikasi) *Tinjauan Kuat Geser Balok Beton Sederhana dengan Sengkang Kombinasi Antara Sengkang Alternatif dan Sengkang Model "U" atau "n" yang Dipasangkan Secara Miring Sudut Tiga Puluh Derajat*, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta

Tandilino, Asni. 2018. *Kapasitas Lentur Balok Beton Bertulang Sistem Rangka dengan Variasi Jarak Spasi*. Jurnal Tugas Akhir: 1-24

Yuliara, I Made. (2016). Regresi Linier Sederhana. Jurusan Fisika, Fakultas Matematikan dan Pengetahuan Alam, Universitas Udayan

UNIVERSITAS MEDAN AREA
FAKULTAS TEKNIK

Kampus I : Jalan Kolam Nomor 1 Medan Estate/Jalan PBSI Nomor 1 ☎(061) 7366878, 7360168, 7364348, 7366781, Fax.(061) 7366998 Medan 20223
Kampus II : Jalan Setiabudi Nomor 79 / Jalan Sei Serayu Nomor 70 A, ☎ (061) 8225602, Fax. (061) 8226331 Medan 20122
Website: www.teknik.uma.ac.id E-mail: univ_medanarea@uma.ac.id

Nomor : 96 /FT.1/01.10/III/2019
Lamp : -
H a l : **Pembimbing Tugas Akhir**

30 Maret 2019

Yth, Pembimbing Tugas Akhir
Ir. H. Edy Hermanto, MT
Ir. Amsuardiman, MT
di
Tempat

Dengan hormat, sehubungan telah dipenuhinya persyaratan untuk memperoleh Tugas Akhir dari mahasiswa atas :

N a m a	: Ririn Vionica Aritonang
N P M	: 178110042
Jurusan	: Teknik Sipil

Maka dengan hormat kami mengharapkan kesediaan saudara :

1. **Ir. H. Edy Hermanto, MT** **(Sebagai Pembimbing I)**
2. **Ir. Amsuardiman, MT** **(Sebagai Pembimbing II)**

Adapun Tugas Akhir Skripsi berjudul :

"Pengaruh Variasi Jarang Sengkang Terhadap Kuat Tekan Beton"

SK Pembimbing ini berlaku selama enam bulan terhitung sejak SK ini diterbitkan. Jika proses pembimbing melebihi batas waktu yang telah ditetapkan, SK ini dapat ditinjau ulang.

Demikian kami sampaikan, atas kesediaan saudara diucapkan terima kasih.

Dekan,

Dr. Faisal Amri Tanjung, SST, MT

UNIVERSITAS MEDAN AREA
FAKULTAS TEKNIK

Kampus I : Jalan Kolam Nomor 1 Medan Estate/Jalan PBSI Nomor 1 ☎(061) 7366878, 7360168, 7364348, 7366781, Fax.(061) 7366998 Medan 20222
Kampus II : Jalan Setiabudi Nomor 79 / Jalan Sei Serayu Nomor 70 A, ☎ (061) 8225602, Fax. (061) 8226331 Medan 20122
Website: www.teknik.uma.ac.id E-mail: univ_medanarea@uma.ac.id

Nomor : 09/FT.1/01.10/II/2020
Lamp : -
Hal : **Perubahan Judul Tugas Akhir**

12 Februari 2020

Yth, Pembimbing Tugas Akhir
Ir. H. Edy Hermanto, MT
Ir. Amsuardiman, MT
di
Tempat

Dengan hormat, sehubungan dengan adanya perubahan judul tugas akhir maka perlu diterbitkan kembali SK Pembimbing Skripsi baru atas nama mahasiswa tersebut :

Nama	: Ririn Vionica Aritonang
NPM	: 178110042
Jurusan	: Teknik Sipil

Maka dengan hormat kami mengharapkan kesediaan saudara :

1. **Ir. H. Edy Hermanto, MT** **(Sebagai Pembimbing I)**
2. **Ir. Amsuardiman, MT** **(Sebagai Pembimbing II)**

Adapun Tugas Akhir Skripsi berjudul :

"Pengaruh Variasi Jarak Tulangan Sengkang Spiral Terhadap Kuat Lentur Balok Beton Bertulang".

SK Pembimbing ini berlaku selama enam bulan terhitung sejak SK ini diterbitkan. Jika proses pembimbing melebihi batas waktu yang telah ditetapkan, SK ini dapat ditinjau ulang.

Demikian kami sampaikan, atas kesediaan saudara diucapkan terima kasih.

Dekan,

11/02/2020

Grace Yuswita Harahap, ST, MT

KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
POLITEKNIK NEGERI MEDAN
JURUSAN TEKNIK MESIN
Jl. Almamater No. 1 Kampus USU, Medan 20155, Indonesia
Telp. (061) 8210371, 8211235, 8213951, Fax : (061) 8215845
http://www.polmed.ac.id e-mail : polmed@polmed.ac.id, info@polmed.ac.id

LAPORAN HASIL UJI TARIK

Nama Mahasiswa : Ririn Vionica Aritonang
NIM : 178110042
TANGGAL UJI : 29 Oktober 2019

JENIS BAHAN: Besi Polos
MESIN UJI : Tarnotest UPH 100 kN
JUMLAH : 6 sampel

PROYEK : **Tugas Akhir Mahasiswa**

No	Kode Bahan	∅ benda uji (mm)	F_y (N)	F_u (N)	σ_y (N/mm^2)	σ_u (N/mm^2)	ε (%)	Ket
1	POLOS–8▶1	8,00	16600	27400	330,41	545,38	22,44	
2	POLOS–8▶2	8,00	19700	27800	392,12	547,37	22,61	
3	POLOS–8▶3	8,00	19200	27500	382,17	547,37	23,63	
	Rata-rata :				**368,23**	**546,71**	**22,89**	
4	POLOS–10▶1	10,00	29600	43150	377,07	549,68	26,15	
5	POLOS–10▶2	10,00	29000	44200	369,43	563,06	24,98	
6	POLOS–10▶3	10,00	28800	44150	366,88	562,42	25,42	
	Rata _ Rata :				**371,13**	**558,39**	**25,52**	

Diuji oleh.	Disaksikan Oleh :	Tanggal :	Mengetahui, Ka. Laboratorium Teknik Mesin.	Tanggal:
SYARIFUL HIKMAH.S, ST. MT NIP. 19700618 200501 1 001		29 Oktober 2019	SYARIFUL HIKMAH.S, ST. MT NIP : 19700618 200501 1 001	29 Oktober 2019

POLITEKNIK NEGERI - JURUSAN - TEKNIK MESIN MEDAN

Keterangan : Gravitasi, g = 9,81 m/s^2, F_y = gaya luluh, Fu = gaya maks
σ_y = tegangan luluh, σ_u = tegangan tarik, ε = regangan

LABORATORIUM
BETON
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK USU
JL. PERPUSTAKAAN NO.19

LAPORAN PENGUJIAN KUAT LENTUR BETON

No : *710 / LB / IX / 2019*

PEMOHON PENGUJIAN	*RIRIN VIONICA ARITONANG*	Lembar Ke	1 Dari 2
PROYEK	*TUGAS AKHIR*		
LOKASI	-		

Jenis Benda Uji	Balok (15x15x60) cm
Mutu	-
Jumlah Benda Uji	10

DIPERIKSA : 1 Muhammad Ridwan Siregar
Asisten : 2 Rizky Ananda Syahputra
3 Bagas Sangga Buana

No.	Nomor Benda Uji	UKURAN BENDA UJI (cm) l	b	h	FAS	SLUMP (cm)	BAHAN TAMBAHAN	TANGGAL cetak	TANGGAL uji	UMUR BETON (hari)	BERAT uji (kg)	BEBAN TEKAN AKTUAL (kN)	BEBAN TEKAN KALIBRASI (kN)	BENTANG PERLETAKAN L (cm)	KUAT LENTUR BENDA UJI, σ (kg/cm²)
1	BETON NORMAL	60	15	15	-	-	-	28-Aug-19	25-Sep-19	28	32,00	24,8	25,1	45	34,13
2	BETON NORMAL	60	15	15	-	-	-	28-Aug-19	25-Sep-19	28	31,00	24,4	24,7	45	33,60
3	BETON NORMAL	60	15	15	-	-	-	28-Aug-19	25-Sep-19	28	30,00	26,0	26,3	45	35,73
4	BETON NORMAL	60	15	15	-	-	-	28-Aug-19	25-Sep-19	28	33,00	31,0	31,2	45	42,37
5	BETON NORMAL	60	15	15	-	-	-	28-Aug-19	25-Sep-19	28	30,00	26,0	26,3	45	35,73
1	TULANGAN SPIRAL 2,5 CM	60	15	15	-	-	-	28-Aug-19	25-Sep-19	28	31,50	35,0	35,0	45	47,59
2	TULANGAN SPIRAL 2,5 CM	60	15	15	-	-	-	28-Aug-19	25-Sep-19	28	32,00	40,0	39,8	45	54,11
3	TULANGAN SPIRAL 2,5 CM	60	15	15	-	-	-	28-Aug-19	25-Sep-19	28	31,00	45,0	44,8	45	60,91
4	TULANGAN SPIRAL 2,5 CM	60	15	15	-	-	-	28-Aug-19	25-Sep-19	28	30,00	95,0	79,3	45	107,82
5	TULANGAN SPIRAL 2,5 CM	60	15	15	-	-	-	28-Aug-19	25-Sep-19	28	32,50	39,0	38,8	45	52,81

BENDA UJI DIBUAT OLEH : -

PASIR : ø max	- (mm)	FM :	-
asal	-		
KERIKIL : ø max	- (mm)	FM :	-
asal	-		

NB : - Keaslian sampel yang telah diuji bukan merupakan tanggung jawab pihak laboratorium.
- Pihak laboratorium tidak bertanggung jawab untuk menyimpan sampel yang telah diuji

Medan, 25 September 2019
KEPALA LABORATORIUM BETON FT - USU

FAKULTAS TEKNIK U S U
LABORATORIUM
BETON

(Ir. Torang Sitorus, MT.)
NIP : 195710021986011001

LABORATORIUM
BETON
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK USU
JL. PERPUSTAKAAN NO.10

LAPORAN PENGUJIAN KUAT LENTUR BETON

No : *710 / LB / IX / 2019*

PEMOHON PENGUJIAN	*RIRIN VIONICA ARITONANG*	Lembar Ke	2 Dari 2
PROYEK	*TUGAS AKHIR*		
LOKASI	-		

Jenis Benda Uji	Balok (15x15x60) cm
Mutu	-
Jumlah Benda Uji	10

DIPERIKSA : 1 Muhammad Ridwan Siregar
Asisten : 2 Rizky Ananda Syahputra
3 Bagas Sangga Buana

No.	Nomor Benda Uji	UKURAN BENDA UJI (cm) l	b	h	F A S	SLUMP (cm)	BAHAN TAMBAHAN	TANGGAL cetak	TANGGAL uji	UMUR BETON (hari)	BERAT uji (kg)	BEBAN TEKAN AKTUAL (kN)	BEBAN TEKAN KALIBRASI (kN)	BENTANG PERLETAKAN L (cm)	KUAT LENTUR BENDA UJI, σ (kg/cm²)
1	TULANGAN SPIRAL 5 CM	60	15	15	-	-	-	28-Aug-19	25-Sep-19	28	33,00	35,00	35,0	45	47,59
2	TULANGAN SPIRAL 5 CM	60	15	15	-	-	-	28-Aug-19	25-Sep-19	28	32,50	38,00	37,9	45	51,50
3	TULANGAN SPIRAL 5 CM	60	15	15	-	-	-	28-Aug-19	25-Sep-19	28	30,20	40,00	39,8	45	54,11
4	TULANGAN SPIRAL 5 CM	60	15	15	-	-	-	28-Aug-19	25-Sep-19	28	31,80	39,80	39,6	45	53,85
5	TULANGAN SPIRAL 5 CM	60	15	15	-	-	-	28-Aug-19	25-Sep-19	28	31,00	36,80	36,7	45	49,94
1	TULANGAN SPIRAL 10 CM	60	15	15	-	-	-	28-Aug-19	25-Sep-19	28	29,90	33,00	33,1	45	44,98
2	TULANGAN SPIRAL 10 CM	60	15	15	-	-	-	28-Aug-19	25-Sep-19	28	29,90	27,00	27,3	45	37,06
3	TULANGAN SPIRAL 10 CM	60	15	15	-	-	-	28-Aug-19	25-Sep-19	28	32,20	35,00	35,0	45	47,59
4	TULANGAN SPIRAL 10 CM	60	15	15	-	-	-	28-Aug-19	25-Sep-19	28	33,00	37,00	36,9	45	50,20
5	TULANGAN SPIRAL 10 CM	60	15	15	-	-	-	28-Aug-19	25-Sep-19	28	32,00	34,00	34,0	45	46,28

BENDA UJI DIBUAT OLEH		-	
PASIR : ø max	- (mm)	FM : -	
asal	-		
KERIKIL : ø max	- (mm)	FM : -	
asal	-		

NB : - Keaslian sampel yang telah diuji bukan merupakan tanggung jawab pihak laboratorium.
- Pihak laboratorium tidak bertanggung jawab untuk menyimpan sampel yang telah diuji

Medan, 25 September 2019
KEPALA LABORATORIUM BETON FT - USU

FAKULTAS TEKNIK U.S.U
LABORATORIUM
BETON
JURUSAN

(Ir. Torang Sitorus, MT.)
NIP : 195710021986011001

DISTRIBUSI t- STUDENT

Dalam menentukan nilai t_{tabel} dari data yang berjumlah diatas 30, yaitu:

Dengan: Memperhatikan nilai t pada baris ke 60 = 2,000 (α = 5%)

Memperhatikan nilai t pada baris ke 40 = 2,021

Rumus $\frac{60-(n-20)}{(n-2)-40} = \frac{2{,}000-x}{x-2{,}021}$

Tabel 10 Distribusi t-Student

Derajat Bebas (df)	Uji Satu Arah					
	0,10	0,05	0,025	0,01	0,005	0,0005
	Uji dua Arah					
	0,20	0,10	0,05	0,02	0,01	0,001
1	3,038	6,314	12,706	31,821	63,657	636,619
2	1,886	2,920	4,303	6,965	9,925	31,599
3	1,683	2,353	3,182	4,541	5,841	12,924
4	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604	8,610
5	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032	6,869
6	1,440	1,943	2,447	3.143	3,707	5,959
7	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499	5,408
8	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355	5,401
9	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250	4,781
10	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169	4,587
11	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106	4,437
12	1,356	1,782	2,179	2,681	3,005	4,318
13	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012	4,221
14	1,345	1,761	2,145	2,624	2,997	4,140
15	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947	4,073
16	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921	4.015
17	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898	3,965
18	1,330	1,734	2,101	2,552	2,878	3,922
19	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861	3,883
20	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845	3,850
21	1,323	1,721	2,080	2,518	2,831	3,819
22	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819	3,792
23	1,319	1,714	2,069	2,500	2,807	3,768
24	1,318	1,711	2,064	2,492	2,797	3,745
25	1,316	1,708	2,060	2,485	2,787	3,725
26	1,315	1,706	2,056	2,479	2,779	3,707
27	1,314	1,703	2,052	2,473	2,771	3,690
28	1,313	1,699	2,048	2,467	2,763	3,674
29	1,311	1,684	2,045	2,462	2,756	3,659
30	1,310	1,671	2,042	2,457	2,750	3,501
40	1,303	1,662	2,021	2,423	2,704	3,460
58	1,297	1,659	2,002	2,393	2,700	3,451
60	1,296	1,658	2,0000	2,390	2,660	3,373

DOKUMENTASI

Gambar 5 Tulangan Baja Polos Diameter 10

Gambar 6 Ukuran Variasi Jarak Tulangan dan Pembuatan Bekisting

TARNO

Gambar 7 Pengujian Kuat Tarik Baja

Gambar 8 Pengecoran Benda Uji

Gambar 9 Pengujian Slump

Gambar 10 Perendaman Benda Uji

Gambar 11 Pengujian Kuat Lentur Balok