

Kerjakan soal seperti berikut:

1. Buatlah Rumusan empiris dari beberapa kajian SDA, Jalan dan transportasi, Geoteknik, Struktur dan bahan

dan jelaskan variabel terkait dengan kajian saudara tersebut

Nama : Hendra Oktariza, ST  
NIM : 192710010  
Angkatan/Kelas : 3 / Regular A  
Mata Kuliah/Kode : Rekayasa Sistem & Manajemen  
/MTS271203  
Tugas : UTS  
Dosen : Prof. Dr. Achmad Syarifudin.

## UTS

### Kerjakan soal seperti berikut:

1. Buatlah Rumusan empiris dari beberapa kajian SDA, Jalan dan transportasi, Geoteknik, Struktur dan bahan dan jelaskan variabel terkait dengan kajian saudara tersebut

### Jawab :

Rumus Empiris mengenai kajian Sumber Daya Air yaitu PERENCANAAN KONSTRUKSI PENGAMAN LONGSOR TEBING SUNGAI AKIBAT BANJIR DI BELOKAN SUNGAI. Analisis yang dilakukan yaitu analisis hidrologi, analisis hidrolika, dan analisis geoteknik.

#### Penentuan Hujan Kawasan

Alat pengukur hujan hanya memberikan nilai tinggi hujan di suatu titik. Untuk mengetahui tinggi hujan di suatu luasan dapat diperkirakan dari titik pengukuran tersebut. Dalam suatu luasan dapat tersedia beberapa alat pengukur hujan yang pembacaan tinggi hujannya berbeda-beda. Untuk menentukan hujan merata pada suatu luasan dapat dilakukan dengan tiga metode yaitu sebagai berikut.

a. Metode rerata aritmatik (aljabar) Metode rerata aritmatik adalah metode paling sederhana untuk menghitung hujan merata di suatu daerah. Tinggi hujan terukur di beberapa stasiun dalam waktu bersamaan dijumlahkan kemudian dibagi 11 dengan jumlah stasiun. Metode ini didasarkan pada asumsi bahwa semua penakar hujan mempunyai pengaruh yang setara. Cara ini cocok untuk kawasan dengan topografi rata, alat penakar tersebar merata dan harga curah hujan masing-masing tidak berbeda jauh dengan harga curah hujan rata-rata. Metode ini kurang akurat bila digunakan untuk menghitung hujan di suatu daerah dengan variasi hujan di tiap stasiun cukup besar.  $\bar{p} = \frac{p_1 + p_2 + \dots + p_n}{n}$  ... (1)

Keterangan :  $\bar{p}$  : hujan merata kawasan  $p_1, p_2, \dots, p_n$  : hujan di stasiun 1, 2, ..., n  $n$  : jumlah stasiun Gambar 2. Metode rerata aritmatik

b. Metode Thiessen Metode ini memperhitungkan bobot dari masing-masing alat pengukur hujan yang mewakili luasan di sekitarnya. Cara ini memberikan proporsi luasan daerah pengaruh pos penakar hujan untuk mengakomodasi ketidakseragaman jarak. Dalam suatu luasan di suatu DAS (Daerah Aliran Sungai) dianggap bahwa hujan di tempat tersebut sama dengan yang terjadi pada stasiun terdekat, sehingga hujan yang tercatat di suatu titik mewakili luasan tersebut. Metode ini digunakan bila penyebaran stasiun hujan di suatu daerah yang ditinjau tidak merata.  $\bar{p} = \frac{p_1 A_1 + p_2 A_2 + \dots + p_n A_n}{A}$  ... (2)

Keterangan :  $\bar{p}$  : hujan merata kawasan  $p_1, p_2, \dots, p_n$  : hujan di stasiun 1, 2, ..., n  $A_1, A_2, \dots, A_n$  : luas daerah yang mewakili stasiun 1, 2, ..., n Gambar 3. Metode Thiessen

c. Metode Isohyet Isohyet adalah garis-garis yang menghubungkan titik-titik dengan tinggi hujan yang sama. Metode isohyet memperhitungkan secara aktual pengaruh tiap-tiap pos penakar hujan. Pada metode isohyet, dianggap 13

bahwa data hujan pada suatu luasan di antara dua garis isohyet adalah merata dan sama dengan rerata dari nilai kedua garis isohyet tersebut. Langkah-langkah yang dilakukan dalam pembuatan garis isohyet adalah sebagai berikut.

- 1) Lokasi stasiun hujan dan tinggi hujan digambarkan pada peta DAS yang akan ditinjau.
- 2) Dari nilai tinggi hujan di stasiun yang berdampingan dibuat interpolasi sesuai pertambahan nilai yang ditetapkan.
- 3) Kurva dibuat menghubungkan titik-titik interpolasi yang memiliki tinggi hujan yang sama.
- 4) Luas daerah antara dua garis isohyet yang berurutan diukur dan dikalikan dengan nilai tinggi hujan rerata dari nilai kedua garis isohyet.
- 5) Jumlah perhitungan dari langkah 4 untuk seluruh garis isohyet dibagi dengan luas daerah yang ditinjau untuk mendapatkan tinggi hujan rerata di daerah tersebut.

(3) Keterangan : p : hujan rerata kawasan I1, I2,..., In: garis isohyet ke 1, 2,..., n, n+1 A1, A2,..., An : luas daerah yang dibatasi oleh stasiun 1,2,..., n

14 Gambar 4. Metode Isohyet Terlepas dari kelemahan dan kekurangan ketiga metode di atas, pemilihan metode yang cocok didasarkan pada tiga faktor yaitu jaringjaring pos penakar hujan, luas DAS, topografi DAS.

Tabel 1. Faktor-faktor penentu metode perhitungan hujan kawasan

Jaring pos penakar hujan	Luas DAS	Topografi DAS	Metode	Jumlah pos terbatas	DAS kecil (< 500 km <sup>2</sup> )
Pegunungan	Metode Thiessen	Jumlah pos cukup	DAS sedang (500-5000 km <sup>2</sup> )	Dataran	Metode isohyet
Jumlah pos cukup	DAS besar (> 5000 km <sup>2</sup> )	Berbukit dan tidak beraturan	Sumber : Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan, Suripin, 2004	3. Analisis Frekuensi dan Probabilitas Sistem hidrologi kadang-kadang dipengaruhi oleh peristiwa-peristiwa yang ekstrim, seperti hujan lebat, banjir, dan kekeringan. Besaran peristiwa ekstrim berbanding terbalik dengan frekuensi kejadiannya. Peristiwa yang ekstrim kejadiannya sangat langka. Tujuan analisis frekuensi data hidrologi adalah berkaitan dengan besaran peristiwa-peristiwa ekstrim yang berkaitan dengan frekuensi kejadiannya melalui penerapan distribusi kemungkinan. Data hidrologi yang dianalisis diasumsikan tidak bergantung, terdistribusi secara acak, dan bersifat stokastik (Suripin, 2004). Dalam analisis frekuensi diperlukan seri data hujan yang diperoleh dari pos penakar hujan. Analisis frekuensi ini didasarkan pada sifat statistik data kejadian yang telah lalu untuk memperoleh probabilitas besaran hujan di masa yang akan datang. Dalam statistik dikenal beberapa parameter yang berkaitan dengan analisis data yang meliputi rata-rata, simpangan baku, koefisien variasi dan koefisien skewness.	

a. Rata-rata  $\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$  (4) b. Simpangan baku  $s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}}$  (5) c. Koefisien variasi  $= \frac{s}{\bar{x}}$  (6) d. Koefisien skewness  $= \frac{\sum (x_i - \bar{x})^3}{n \cdot s^3}$  (7)

Analisis frekuensi yang sering digunakan dalam bidang hidrologi adalah sebagai berikut.

- a. Distribusi Normal Distribusi normal disebut juga distribusi Gauss. Perhitungan curah hujan rencana menurut metode distribusi normal, mempunyai persamaan sebagai berikut.  $X_T = \bar{x} + K_T \cdot S$  (8) Keterangan :  $X_T$  : perkiraan nilai yang diharapkan terjadi dengan periode ulang T  $\bar{x}$  : nilai rata-rata hitung variat S : deviasi standar nilai variat  $K_T$  : faktor frekuensi, merupakan fungsi dari periode ulang dan tipe model matematik disrtibusi peluang yang digunakan untuk analisis peluang Untuk mempermudah perhitungan distribusi normal, sudah tersedia nilai variabel reduksi Gauss seperti yang terdapat pada Tabel 4.

Tabel 2. Nilai variabel reduksi Gauss

No.	Periode ulang	Peluang	KT
1	1,001	0,999	-3,05
11	2,500	0,400	0,25
2	1,005	0,995	-2,58
12	3,330	0,300	0,52
3	1,010	0,990	-2,33
13	4,000	0,250	0,67
4	1,050	0,950	-1,64
14	5,000	0,200	0,84
5	1,110	0,900	-1,28
15	10,000	0,100	1,28
6	1,250	0,800	-0,84
16	20,000	0,050	1,64
7	1,330	0,750	-0,67
17	50,000	0,020	2,05
8	1,430	0,700	-0,52
18	100,000	0,010	2,33
9	1,670	0,600	-0,25
19	200,000	0,005	2,58
10	2,000	0,500	0
20	500,000	0,002	2,88
21	1000,000	0,001	3,09

Sumber : Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan, Suripin, 2004

- b. Distribusi Log Normal Dalam distribusi log normal data X diubah ke dalam bentuk logaritmik  $Y = \log X$ . Jika variabel acak  $Y = \log X$  terdistribusi secara normal, maka X dikatakan mengikuti distribusi log normal. Perhitungan curah hujan rencana menggunakan persamaan berikut ini.  $X_T = \bar{x} + K_T \cdot S$  (9) 17 Keterangan :  $Y_T$  : Perkiraan nilai yang terjadi dengan periode ulang T-tahunan  $\bar{y}$  : Nilai rata-rata hitung variat S : Deviasi standar nilai variat  $K_T$  : Faktor Frekuensi, merupakan fungsi dari periode ulang dan tipe model matematik disrtibusi peluang yang digunakan untuk analisis peluang
- c. Distribusi Log Pearson III Perhitungan

curah hujan rencana menurut metode Log Person III, mempunyai langkah-langkah perumusan sebagai berikut. 1) Mengubah data dalam bentuk logaritmis  $\log \dots(10)$  2) Menghitung harga rata-rata  $\log = \sum \dots(11)$  3) Menghitung harga simpangan baku  $= \sum (\dots)(12)$  4) Menghitung koefisien skewness  $= \sum (\dots)(13)$  5) Menghitung logaritma hujan atau banjir dengan periode ulang T  $\log = \log + \dots(14)$  Nilai K adalah variabel standar untuk X yang besarnya tergantung koefisien kemencengan G. 18

d. Distribusi Gumbel Perhitungan curah hujan rencana menurut Metode Gumbel digunakan untuk analisis data maksimum, misal untuk analisis frekuensi banjir. Perhitungan curah hujan rencana menurut Metode Gumbel, mempunyai perumusan sebagai berikut.  $= + \dots(15)$  Keterangan : X : Harga rata-rata sampel S : Standar deviasi (simpangan baku) sampel Nilai K (faktor probabilitas) untuk harga-harga ekstrim Gumbel dapat dinyatakan dalam persamaan berikut.  $= \dots(16)$  Keterangan :  $Y_n$  : Reduced mean yang tergantung jumlah sample/data n (Tabel 3.)  $S_n$  : Reduced standard deviation yang juga tergantung pada jumlah sample/data n (Tabel 4.)  $Y_{Tr}$  : Reduced variate, yang dapat dihitung dengan persamaan :  $= - \ln - \ln \dots(17)$  Hubungan antara reduced variate dan periode ulang dapat dilihat di Tabel 5. 19

Table 3. Reduced Mean, $Y_n$	N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10																																																																																																
0,4952	0,4996	0,5035	0,5070	0,5100	0,5128	0,5157	0,5181	0,5202	0,5220	20	0,5236	0,5252	0,5268	0,5283	0,5296	0,5309	0,5320	0,5332	0,5343	0,5353	30	0,5362	0,5371	0,5380	0,5388	0,8396	0,5403	0,5410	0,5418	0,5424	0,5436	40	0,5436	0,5442	0,5448	0,5453	0,5458	0,5463	0,5468	0,5473	0,5477	0,5481	50	0,5485	0,5489	0,5493	0,5497	0,5501	0,5504	0,5508	0,5511	0,5515	0,5518	60	0,5521	0,5524	0,5527	0,5530	0,5533	0,5535	0,5538	0,5540	0,5543	0,5545	70	0,5548	0,5550	0,5552	0,5555	0,5557	0,5559	0,5561	0,5563	0,5565	0,5567	80	0,5569	0,5570	0,5572	0,5574	0,5576	0,5578	0,5580	0,5581	0,5583	0,5585	90	0,5586	0,5587	0,5589	0,5591	0,5592	0,5593	0,5595	0,5596	0,5598	0,5599	100	0,5600	0,5602	0,5603	0,5604	0,5606	0,5607	0,5608	0,5609	0,5610	0,5611

Sumber : Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan, Suripin, 2004

Table 4. Reduced Standard Deviation, $S_n$	N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10																																																																																																
0,9496	0,9676	0,9833	0,9971	1,0095	1,0206	1,0316	1,0411	1,0493	1,0565	20	1,0628	1,0696	1,0754	1,0811	1,0864	1,0915	1,0961	1,1004	1,1047	1,1080	30	1,1124	1,1159	1,1193	1,1226	1,1255	1,1285	1,1313	1,1339	1,1363	1,1388	40	1,1413	1,1436	1,1458	1,1480	1,1499	1,1519	1,1538	1,1557	1,1574	1,1590	50	1,1607	1,1623	1,1638	1,1658	1,1667	1,1681	1,1696	1,1708	1,1721	1,1734	60	1,1747	1,1759	1,1770	1,1782	1,1793	1,1803	1,1814	1,1824	1,1834	1,1844	70	1,1854	1,1863	1,1873	1,1881	1,1890	1,1898	1,1906	1,1915	1,1923	1,1930	80	1,1938	1,1945	1,1953	1,1959	1,1967	1,1973	1,1980	1,1987	1,1994	1,2001	90	1,2007	1,2013	1,2020	1,2026	1,2032	1,2038	1,2044	1,2049	1,2055	1,2060	100	1,2065	1,2069	1,2073	1,2077	1,2081	1,2084	1,2087	1,2090	1,2093	1,2096

Sumber : Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan, Suripin, 2004

Table 5. Reduced Variate, $Y_{Tr}$	Periode ulang, $Tr$ (tahun)	Reduced variate $Y_{Tr}$	
0,3668	100	4,6012	
5	1,5004	200	5,2969
10	2,2510	250	5,5206
20	2,9709	500	6,2149
25	3,1993	1000	6,9087
50	3,9028	5000	8,5188
75	4,3117	10000	9,2121

Sumber : Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan, Suripin, 2004

Uji Kecocokan Dalam analisis hidrologi dibutuhkan pengujian parameter untuk menguji kecocokan distribusi frekuensi sampel data terhadap fungsi distribusi peluang yang diperkirakan dapat menggambarkan atau mewakili distribusi frekuensi tersebut. Pengujian parameter yang sering dipakai adalah uji chi-kuadrat dan Smirnov-Kolmogorov.

a. Uji Chi-kuadrat Uji chi-kuadrat dimaksudkan untuk menentukan apakah persamaan distribusi yang telah dipilih dapat mewakili distribusi statistik sampel data yang dianalisis. Pengambilan keputusan uji ini menggunakan parameter  $\chi^2$  yang dapat dihitung dengan rumus berikut.  $= \sum (\dots)(18)$  Keterangan :  $\chi^2$  : Parameter chi-kuadrat terhitung G : Jumlah sub kelompok  $O_i$  : Jumlah nilai pengamatan pada sub kelompok  $i$   $E_i$  : Jumlah nilai teoritis pada sub kelompok  $i$  Prosedur uji chi-kuadrat adalah sebagai berikut. 1) Mengurutkan data pengamatan. 2) Mengelompokkan data menjadi

G sub grup yang masing-masing beranggotakan minimal 4 data pengamatan. 3) Menjumlahkan data pengamatan sebesar  $O_i$  tiap-tiap sub grup. 21 4) Menjumlahkan data dari persamaan distribusi yang digunakan sebesar  $E_i$ . 5) Pada tiap-tiap sub grup dihitung nilai  $(-)$  dan  $( )$ . 6) Menjumlahkan seluruh G sub grup nilai  $( )$  untuk menentukan nilai chi-kuadrat terhitung. 7) Menentukan derajat kebebasan  $= - - 1$  (nilai  $R = 2$  untuk distribusi normal dan binomial) Interpretasi hasil uji chi-kuadrat adalah sebagai berikut. 1) Apabila peluang lebih dari 5%, maka persamaan distribusi yang digunakan dapat diterima. 2) Apabila peluang kurang dari 1%, maka persamaan distribusi yang digunakan tidak dapat diterima. 3) Apabila peluang berada di antara 1-5%, maka tidak mungkin mengambil keputusan, misal perlu data tambahan. 1) Uji Smirnov-Kolmogorov Uji kecocokan Smirnov-Kolmogorov sering disebut uji kecocokan non parametrik karena pengujiannya tidak menggunakan fungsi distribusi tertentu. Prosedur uji Smirnov-Kolmogorov adalah sebagai berikut. a) Mengurutkan data (dari besar ke kecil atau sebaliknya) dan menentukan besarnya peluang dari masing-masing data tersebut. b) Mengurutkan nilai masing-masing peluang teoritis dari hasil penggambaran data (persamaan distribusinya). 22 c) Dari kedua nilai peluang tersebut, menentukan selisih terbesar antar peluang pengamatan dan peluang teoritis. d) Berdasarkan tabel nilai kritis menentukan harga  $D_o$ .

b. Curah Hujan Maksimum Harian Rata-Rata Perhitungan data hujan maksimum harian rata-rata DAS harus dilakukan secara benar untuk analisis frekuensi data hujan. Cara mendapatkan hujan maksimum harian rata-rata adalah sebagai berikut. 1) Menentukan hujan maksimum harian pada tahun tertentu di salah satu pos hujan. 2) Mencari besarnya curah hujan pada tanggal, bulan, dan tahun yang sama untuk pos hujan yang lain. 3) Menghitung hujan DAS dengan salah satu cara yang dipilih. 4) Menentukan hujan maksimum harian pada tahun yang sama untuk pos hujan yang lain. 5) Mengulangi langkah b dan c untuk setiap tahun. 6) Dari hasil rata-rata yang diperoleh dipilih yang tertinggi setiap tahunnya.

c. Analisis Intensitas Hujan Intensitas hujan adalah tinggi air hujan per satuan waktu. Sifat umum hujan adalah makin singkat hujan yang berlangsung, intensitasnya cenderung semakin tinggi dan periode ulangnya makin besar intensitasnya. Hubungan antara intensitas, lama hujan, dan frekuensi 23 hujan dinyatakan dengan lengkung Intensitas-Durasi-Frekuensi (IDF = Intensity, Duration, Frequency Curve). Untuk menentukan debit banjir rencana (design flood) perlu didapatkan harga suatu intensitas curah hujan terutama bila digunakan metode rasional. Intensitas curah hujan adalah ketinggian curah hujan yang terjadi pada suatu kurun waktu di mana air tersebut berkonsentrasi. Analisis intensitas curah hujan ini dapat diproses dari data curah hujan yang telah terjadi pada masa lampau. Untuk menghitung intensitas curah hujan dapat digunakan beberapa rumus empiris sebagai berikut. 1) Rumus Talbot Rumus ini banyak digunakan karena mudah diterapkan dan tetapantetapan a dan b ditentukan dengan harga-harga yang terukur.  $= \dots(19)$  Keterangan : I : intensitas hujan (mm/jam) t : lamanya hujan (jam) a dan b : konstanta yang tergantung pada lamanya hujan yang terjadi di DAS = [ . ] . [ ] [ ] [ ] [ ]  $\dots(20) = [ ] [ . ] . [ ] [ ] [ ] \dots(21) 24$  2) Rumus Sherman Rumus ini cocok untuk jangka waktu curah hujan yang lamanya lebih dari 2 jam.  $= \dots(22)$  Keterangan : I : intensitas hujan (mm/jam) t : lamanya hujan (jam) n : konstanta  $\log = [ ] ( ) [ . ] [ ] [ ( ) ] [ ] [ ] \dots(23) = [ ] [ ] [ . ] [ ( ) ] [ ] [ ] \dots(24)$  3) Rumus Ishiguro  $= \sqrt{\dots(25)}$  Keterangan : I : intensitas hujan (mm/jam) t : lamanya hujan (jam) a dan b : konstanta  $= \sqrt{\dots(26) = [ ] \cdot \sqrt{\dots(27) 25}$  4) Rumus Mononobe Rumus ini digunakan apabila data hujan jangka pendek tidak tersedia, yang ada hanya data hujan harian.  $= / \dots(28)$  Keterangan : I : intensitas hujan (mm/jam) t : lamanya hujan (jam)  $R_{24}$  : curah hujan maksimum harian selama 24 jam (mm) 5. Debit Banjir Rencana Metode yang biasa digunakan untuk menghitung debit banjir rencana umumnya sebagai berikut. a. Metode Rasional Metode untuk memperkirakan laju aliran permukaan puncak yang umum dipakai adalah metode Rasional USSCS (1973). Metode ini sangat simpel dan mudah penggunaannya, namun penggunaannya terbatas untuk DAS-DAS dengan ukuran kecil, yaitu kurang dari 300 ha. Karena model ini merupakan model kotak hitam, maka tidak dapat menerangkan hubungan curah hujan dan aliran permukaan dalam bentuk hidrograf. Metode rasional dikembangkan

berdasarkan asumsi bahwa hujan yang terjadi mempunyai intensitas seragam dan merata di seluruh DAS selama paling sedikit sama dengan waktu konsentrasi.  $= 0,0195 \times \dots$  (29) 26 Keterangan :  $t_c$  : waktu konsentrasi hujan (menit)  $L$  : jarak terjauh dari titik terjauh sampai saluran (km)  $S$  : kemiringan saluran Metode rasional ini dapat dinyatakan secara aljabar dengan persamaan sebagai berikut.  $= \dots$  (30) Keterangan :  $Q$  : debit puncak banjir ( $m^3/det$ )  $C$  : koefisien pengaliran  $A$  : luas daerah pengaliran ( $km^2$ )  $I$  : intensitas hujan (mm/jam) Suripin (2004) mengemukakan faktor utama yang mempengaruhi nilai  $C$  adalah laju infiltrasi tanah atau persentase lahan kedap air, kemiringan lahan, tanaman penutupan tanah dan intensitas hujan. Koefisien ini juga tergantung pada sifat dan kondisi tanah. Laju infiltrasi turun pada hujan yang terus-menerus dan juga dipengaruhi oleh kondisi kejenuhan air sebelumnya. Faktor lain yang juga mempengaruhi nilai  $C$  adalah air tanah, derajat kepadatan tanah, porositas tanah dan simpanan depresi. Berikut nilai  $C$  untuk berbagai tipe tanah dan penggunaan lahan (McGueen 1989 dalam Suripin 2003). 27 Tabel 6. Koefisien pengaliran ( $C$ ) untuk metode rasional

No.	Deskripsi lahan/karakter permukaan	Koefisien $C$
1.	Bisnis : - perkantoran - pinggir	0,70 - 0,95
2.	Perumahan : - rumah tinggal - multi unit terpisah - multi unit tergabung - perkampungan - apartemen	0,30 - 0,50
3.	Industri : - berat - ringan	0,50 - 0,80
4.	Perkerasan : - aspal dan beton - batu bata, paving	0,70 - 0,95
5.	Atap	0,75 - 0,95
6.	Halaman, tanah berpasir : - datar 2% - rata-rata 2-7% - curam 7%	0,05 - 0,10
7.	Halaman, tanah berat : - datar 2% - rata-rata 2-7% - curam 7%	0,13 - 0,17
8.	Hutan : - datar 0-5% - bergelombang 5-10% - berbukit 10-30%	0,10 - 0,40

Sumber : McGueen, 1989 dalam Suripin, 2003

b. Metode Haspers Perhitungan debit banjir dengan metode Haspers diberikan sebagai persamaan yang merupakan fungsi dari koefisien pengaliran, distribusi hujan, intensitas curah hujan, dan luas daerah pengaliran yang dirumuskan sebagai berikut.  $28 = \dots$  (31) Keterangan :  $Q$  : debit puncak banjir ( $m^3/detik$ )  $\alpha$  : koefisien pengaliran yang dapat dicari dengan rumus :  $= \dots$  (32)  $A$  : luas daerah pengaliran ( $km^2$ )  $\beta$  : koefisien distribusi curah hujan yang dapat dicari dengan rumus :  $= 1 + \dots$  (33)  $t$  : waktu puncak banjir (jam) yang dapat dicari dengan rumus :  $= 0,1 \times \dots$  (34)  $L$  : panjang sungai (km)  $i$  : kemiringan rata-rata daerah pengaliran  $q$  : intensitas curah hujan (mm/jam) yang dapat dicari dengan rumus :  $= \dots$  (34)  $= \dots$  (35)  $= \dots$  (36) Keterangan :  $L$  : panjang sungai (m)  $S$  : kemiringan sungai (desimal)  $H$  : beda tinggi dari tempat terjauh sampai outlet yang dimaksud (m) 2) Rumus Giandotti  $= \dots$  (37) Keterangan :  $t_c$  : waktu konsentrasi (jam)  $A$  : luas daerah tangkapan ( $km^2$ )  $L$  : panjang sungai utama atau alur (km)  $h$  : perbedaan antara tinggi rata-rata dari daerah tadah hujan dan ketinggian lokasi embung (m)

Nama : Hendra Oktariza, ST  
NIM : 192710010  
Angkatan/Kelas : 3 / Regular A  
Mata Kuliah/Kode : Rekayasa Sistem & Manajemen  
/MTS271203  
Tugas : UTS  
Dosen : Prof. Dr. Achmad Syarifudin.

## UTS

### Kerjakan soal seperti berikut:

1. Buatlah Rumusan empiris dari beberapa kajian SDA, Jalan dan transportasi, Geoteknik, Struktur dan bahan dan jelaskan variabel terkait dengan kajian saudara tersebut

### Jawab :

Rumus Empiris mengenai kajian Sumber Daya Air yaitu PERENCANAAN KONSTRUKSI PENGAMAN LONGSOR TEBING SUNGAI AKIBAT BANJIR DI BELOKAN SUNGAI. Analisis yang dilakukan yaitu analisis hidrologi, analisis hidrolika, dan analisis geoteknik.

#### Penentuan Hujan Kawasan

Alat pengukur hujan hanya memberikan nilai tinggi hujan di suatu titik. Untuk mengetahui tinggi hujan di suatu luasan dapat diperkirakan dari titik pengukuran tersebut. Dalam suatu luasan dapat tersedia beberapa alat pengukur hujan yang pembacaan tinggi hujannya berbeda-beda. Untuk menentukan hujan merata pada suatu luasan dapat dilakukan dengan tiga metode yaitu sebagai berikut.

a. Metode rerata aritmatik (aljabar) Metode rerata aritmatik adalah metode paling sederhana untuk menghitung hujan merata di suatu daerah. Tinggi hujan terukur di beberapa stasiun dalam waktu bersamaan dijumlahkan kemudian dibagi 11 dengan jumlah stasiun. Metode ini didasarkan pada asumsi bahwa semua penakar hujan mempunyai pengaruh yang setara. Cara ini cocok untuk kawasan dengan topografi rata, alat penakar tersebar merata dan harga curah hujan masing-masing tidak berbeda jauh dengan harga curah hujan rata-rata. Metode ini kurang akurat bila digunakan untuk menghitung hujan di suatu daerah dengan variasi hujan di tiap stasiun cukup besar.  $\bar{p} = \frac{p_1 + p_2 + \dots + p_n}{n}$  ... (1)

Keterangan :  $\bar{p}$  : hujan merata kawasan  $p_1, p_2, \dots, p_n$  : hujan di stasiun 1, 2, ..., n  $n$  : jumlah stasiun Gambar 2. Metode rerata aritmatik

b. Metode Thiessen Metode ini memperhitungkan bobot dari masing-masing alat pengukur hujan yang mewakili luasan di sekitarnya. Cara ini memberikan proporsi luasan daerah pengaruh pos penakar hujan untuk mengakomodasi ketidakseragaman jarak. Dalam suatu luasan di suatu DAS (Daerah Aliran Sungai) dianggap bahwa hujan di tempat tersebut sama dengan yang terjadi pada stasiun terdekat, sehingga hujan yang tercatat di suatu titik mewakili luasan tersebut. Metode ini digunakan bila penyebaran stasiun hujan di suatu daerah yang ditinjau tidak merata.  $\bar{p} = \frac{p_1 A_1 + p_2 A_2 + \dots + p_n A_n}{A}$  ... (2)

Keterangan :  $\bar{p}$  : hujan merata kawasan  $p_1, p_2, \dots, p_n$  : hujan di stasiun 1, 2, ..., n  $A_1, A_2, \dots, A_n$  : luas daerah yang mewakili stasiun 1, 2, ..., n Gambar 3. Metode Thiessen

c. Metode Isohyet Isohyet adalah garis-garis yang menghubungkan titik-titik dengan tinggi hujan yang sama. Metode isohyet memperhitungkan secara aktual pengaruh tiap-tiap pos penakar hujan. Pada metode isohyet, dianggap 13

bahwa data hujan pada suatu luasan di antara dua garis isohyet adalah merata dan sama dengan rerata dari nilai kedua garis isohyet tersebut. Langkah-langkah yang dilakukan dalam pembuatan garis isohyet adalah sebagai berikut.

- 1) Lokasi stasiun hujan dan tinggi hujan digambarkan pada peta DAS yang akan ditinjau.
- 2) Dari nilai tinggi hujan di stasiun yang berdampingan dibuat interpolasi sesuai pertambahan nilai yang ditetapkan.
- 3) Kurva dibuat menghubungkan titik-titik interpolasi yang memiliki tinggi hujan yang sama.
- 4) Luas daerah antara dua garis isohyet yang berurutan diukur dan dikalikan dengan nilai tinggi hujan rerata dari nilai kedua garis isohyet.
- 5) Jumlah perhitungan dari langkah 4 untuk seluruh garis isohyet dibagi dengan luas daerah yang ditinjau untuk mendapatkan tinggi hujan rerata di daerah tersebut.

(3) Keterangan : p : hujan rerata kawasan I1, I2,..., In: garis isohyet ke 1, 2,..., n, n+1 A1, A2,..., An : luas daerah yang dibatasi oleh stasiun 1,2,..., n

14 Gambar 4. Metode Isohyet Terlepas dari kelemahan dan kekurangan ketiga metode di atas, pemilihan metode yang cocok didasarkan pada tiga faktor yaitu jaringjaring pos penakar hujan, luas DAS, topografi DAS.

Tabel 1. Faktor-faktor penentu metode perhitungan hujan kawasan

Jaring pos penakar hujan	Luas DAS	Topografi DAS	Metode	Jumlah pos terbatas	DAS kecil (< 500 km <sup>2</sup> )
Pegunungan	Metode Thiessen	Jumlah pos cukup	DAS sedang (500-5000 km <sup>2</sup> )	Dataran	Metode isohyet
Jumlah pos cukup	DAS besar (> 5000 km <sup>2</sup> )	Berbukit dan tidak beraturan	Sumber : Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan, Suripin, 2004	3. Analisis Frekuensi dan Probabilitas Sistem hidrologi kadang-kadang dipengaruhi oleh peristiwa-peristiwa yang ekstrim, seperti hujan lebat, banjir, dan kekeringan. Besaran peristiwa ekstrim berbanding terbalik dengan frekuensi kejadiannya. Peristiwa yang ekstrim kejadiannya sangat langka. Tujuan analisis frekuensi data hidrologi adalah berkaitan dengan besaran peristiwa-peristiwa ekstrim yang berkaitan dengan frekuensi kejadiannya melalui penerapan distribusi kemungkinan. Data hidrologi yang dianalisis diasumsikan tidak bergantung, terdistribusi secara acak, dan bersifat stokastik (Suripin, 2004). Dalam analisis frekuensi diperlukan seri data hujan yang diperoleh dari pos penakar hujan. Analisis frekuensi ini didasarkan pada sifat statistik data kejadian yang telah lalu untuk memperoleh probabilitas besaran hujan di masa yang akan datang. Dalam statistik dikenal beberapa parameter yang berkaitan dengan analisis data yang meliputi rata-rata, simpangan baku, koefisien variasi dan koefisien skewness.	

a. Rata-rata  $\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$  (4) b. Simpangan baku  $s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}}$  (5) c. Koefisien variasi  $= \frac{s}{\bar{x}}$  (6) d. Koefisien skewness  $= \frac{\sum (x_i - \bar{x})^3}{n \cdot s^3}$  (7)

Analisis frekuensi yang sering digunakan dalam bidang hidrologi adalah sebagai berikut.

- a. Distribusi Normal Distribusi normal disebut juga distribusi Gauss. Perhitungan curah hujan rencana menurut metode distribusi normal, mempunyai persamaan sebagai berikut.  $X = \bar{x} + K_T \cdot S$  (8) Keterangan : XT : perkiraan nilai yang diharapkan terjadi dengan periode ulang T X : nilai rata-rata hitung variat S :deviasi standar nilai variat KT : faktor frekuensi, merupakan fungsi dari periode ulang dan tipe model matematik disrtibusi peluang yang digunakan untuk analisis peluang Untuk mempermudah perhitungan distribusi normal, sudah tersedia nilai variabel reduksi Gauss seperti yang terdapat pada Tabel 4.

Tabel 2. Nilai variabel reduksi Gauss

No.	Periode ulang	Peluang	KT
1	1,001	0,999	-3,05
11	2,500	0,400	0,25
2	1,005	0,995	-2,58
12	3,330	0,300	0,52
3	1,010	0,990	-2,33
13	4,000	0,250	0,67
4	1,050	0,950	-1,64
14	5,000	0,200	0,84
5	1,110	0,900	-1,28
15	10,000	0,100	1,28
6	1,250	0,800	-0,84
16	20,000	0,050	1,64
7	1,330	0,750	-0,67
17	50,000	0,020	2,05
8	1,430	0,700	-0,52
18	100,000	0,010	2,33
9	1,670	0,600	-0,25
19	200,000	0,005	2,58
10	2,000	0,500	0
20	500,000	0,002	2,88
21	1000,000	0,001	3,09

Sumber : Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan, Suripin, 2004

- b. Distribusi Log Normal Dalam distribusi log normal data X diubah ke dalam bentuk logaritmik  $Y = \log X$ . Jika variabel acak  $Y = \log X$  terdistribusi secara normal, maka X dikatakan mengikuti distribusi log normal. Perhitungan curah hujan rencana menggunakan persamaan berikut ini.  $X = \bar{x} + K_T \cdot S$  (9) 17 Keterangan : YT : Perkiraan nilai yang terjadi dengan periode ulang T-tahunan Y : Nilai rata-rata hitung variat S : Deviasi standar nilai variat KT : Faktor Frekuensi, merupakan fungsi dari periode ulang dan tipe model matematik disrtibusi peluang yang digunakan untuk analisis peluang
- c. Distribusi Log Pearson III Perhitungan

curah hujan rencana menurut metode Log Person III, mempunyai langkah-langkah perumusan sebagai berikut. 1) Mengubah data dalam bentuk logaritmis  $\log \dots(10)$  2) Menghitung harga rata-rata  $\log = \sum \dots(11)$  3) Menghitung harga simpangan baku  $= \sum (\dots) \dots(12)$  4) Menghitung koefisien skewness  $= \sum (\dots) (\dots) \dots(13)$  5) Menghitung logaritma hujan atau banjir dengan periode ulang T  $\log = \log + \dots(14)$  Nilai K adalah variabel standar untuk X yang besarnya tergantung koefisien kemencengan G. 18

d. Distribusi Gumbel Perhitungan curah hujan rencana menurut Metode Gumbel digunakan untuk analisis data maksimum, misal untuk analisis frekuensi banjir. Perhitungan curah hujan rencana menurut Metode Gumbel, mempunyai perumusan sebagai berikut.  $= + \dots(15)$  Keterangan : X : Harga rata-rata sampel S : Standar deviasi (simpangan baku) sampel Nilai K (faktor probabilitas) untuk harga-harga ekstrim Gumbel dapat dinyatakan dalam persamaan berikut.  $= \dots(16)$  Keterangan :  $Y_n$  : Reduced mean yang tergantung jumlah sample/data n (Tabel 3.)  $S_n$  : Reduced standard deviation yang juga tergantung pada jumlah sample/data n (Tabel 4.)  $Y_{Tr}$  : Reduced variate, yang dapat dihitung dengan persamaan :  $= - \ln - \ln \dots(17)$  Hubungan antara reduced variate dan periode ulang dapat dilihat di Tabel 5. 19

Table 3. Reduced Mean, $Y_n$	N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10																																																																																						
0,4952	0,4996	0,5035	0,5070	0,5100	0,5128	0,5157	0,5181	0,5202	0,5220																																																																																									
20	0,5236	0,5252	0,5268	0,5283	0,5296	0,5309	0,5320	0,5332	0,5343	0,5353	30	0,5362	0,5371	0,5380	0,5388	0,8396	0,5403	0,5410	0,5418	0,5424	0,5436	40	0,5436	0,5442	0,5448	0,5453	0,5458	0,5463	0,5468	0,5473	0,5477	0,5481	50	0,5485	0,5489	0,5493	0,5497	0,5501	0,5504	0,5508	0,5511	0,5515	0,5518	60	0,5521	0,5524	0,5527	0,5530	0,5533	0,5535	0,5538	0,5540	0,5543	0,5545	70	0,5548	0,5550	0,5552	0,5555	0,5557	0,5559	0,5561	0,5563	0,5565	0,5567	80	0,5569	0,5570	0,5572	0,5574	0,5576	0,5578	0,5580	0,5581	0,5583	0,5585	90	0,5586	0,5587	0,5589	0,5591	0,5592	0,5593	0,5595	0,5596	0,5598	0,5599	100	0,5600	0,5602	0,5603	0,5604	0,5606	0,5607	0,5608	0,5609	0,5610	0,5611

Sumber : Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan, Suripin, 2004

Table 4. Reduced Standard Deviation, $S_n$	N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10																																																																																																
0,9496	0,9676	0,9833	0,9971	1,0095	1,0206	1,0316	1,0411	1,0493	1,0565	20	1,0628	1,0696	1,0754	1,0811	1,0864	1,0915	1,0961	1,1004	1,1047	1,1080	30	1,1124	1,1159	1,1193	1,1226	1,1255	1,1285	1,1313	1,1339	1,1363	1,1388	40	1,1413	1,1436	1,1458	1,1480	1,1499	1,1519	1,1538	1,1557	1,1574	1,1590	50	1,1607	1,1623	1,1638	1,1658	1,1667	1,1681	1,1696	1,1708	1,1721	1,1734	60	1,1747	1,1759	1,1770	1,1782	1,1793	1,1803	1,1814	1,1824	1,1834	1,1844	70	1,1854	1,1863	1,1873	1,1881	1,1890	1,1898	1,1906	1,1915	1,1923	1,1930	80	1,1938	1,1945	1,1953	1,1959	1,1967	1,1973	1,1980	1,1987	1,1994	1,2001	90	1,2007	1,2013	1,2020	1,2026	1,2032	1,2038	1,2044	1,2049	1,2055	1,2060	100	1,2065	1,2069	1,2073	1,2077	1,2081	1,2084	1,2087	1,2090	1,2093	1,2096

Sumber : Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan, Suripin, 2004

Table 5. Reduced Variate, $Y_{Tr}$	Periode ulang, $Tr$ (tahun)	Reduced variate $Y_{Tr}$	
0,3668	100	4,6012	
5	1,5004	200	5,2969
10	2,2510	250	5,5206
20	2,9709	500	6,2149
25	3,1993	1000	6,9087
50	3,9028	5000	8,5188
75	4,3117	10000	9,2121

Sumber : Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan, Suripin, 2004

Uji Kecocokan Dalam analisis hidrologi dibutuhkan pengujian parameter untuk menguji kecocokan distribusi frekuensi sampel data terhadap fungsi distribusi peluang yang diperkirakan dapat menggambarkan atau mewakili distribusi frekuensi tersebut. Pengujian parameter yang sering dipakai adalah uji chi-kuadrat dan Smirnov-Kolmogorov.

a. Uji Chi-kuadrat Uji chi-kuadrat dimaksudkan untuk menentukan apakah persamaan distribusi yang telah dipilih dapat mewakili distribusi statistik sampel data yang dianalisis. Pengambilan keputusan uji ini menggunakan parameter  $\chi^2$  yang dapat dihitung dengan rumus berikut.  $= \sum (\dots) \dots(18)$  Keterangan :  $\chi^2$  : Parameter chi-kuadrat terhitung G : Jumlah sub kelompok  $O_i$  : Jumlah nilai pengamatan pada sub kelompok  $i$   $E_i$  : Jumlah nilai teoritis pada sub kelompok  $i$  Prosedur uji chi-kuadrat adalah sebagai berikut. 1) Mengurutkan data pengamatan. 2) Mengelompokkan data menjadi

G sub grup yang masing-masing beranggotakan minimal 4 data pengamatan. 3) Menjumlahkan data pengamatan sebesar  $O_i$  tiap-tiap sub grup. 21 4) Menjumlahkan data dari persamaan distribusi yang digunakan sebesar  $E_i$ . 5) Pada tiap-tiap sub grup dihitung nilai  $(-)$  dan  $( )$ . 6) Menjumlahkan seluruh G sub grup nilai  $( )$  untuk menentukan nilai chi-kuadrat terhitung. 7) Menentukan derajat kebebasan  $= - - 1$  (nilai  $R = 2$  untuk distribusi normal dan binomial) Interpretasi hasil uji chi-kuadrat adalah sebagai berikut. 1) Apabila peluang lebih dari 5%, maka persamaan distribusi yang digunakan dapat diterima. 2) Apabila peluang kurang dari 1%, maka persamaan distribusi yang digunakan tidak dapat diterima. 3) Apabila peluang berada di antara 1-5%, maka tidak mungkin mengambil keputusan, misal perlu data tambahan. 1) Uji Smirnov-Kolmogorov Uji kecocokan Smirnov-Kolmogorov sering disebut uji kecocokan non parametrik karena pengujiannya tidak menggunakan fungsi distribusi tertentu. Prosedur uji Smirnov-Kolmogorov adalah sebagai berikut. a) Mengurutkan data (dari besar ke kecil atau sebaliknya) dan menentukan besarnya peluang dari masing-masing data tersebut. b) Mengurutkan nilai masing-masing peluang teoritis dari hasil penggambaran data (persamaan distribusinya). 22 c) Dari kedua nilai peluang tersebut, menentukan selisih terbesar antar peluang pengamatan dan peluang teoritis. d) Berdasarkan tabel nilai kritis menentukan harga  $D_o$ .

b. Curah Hujan Maksimum Harian Rata-Rata Perhitungan data hujan maksimum harian rata-rata DAS harus dilakukan secara benar untuk analisis frekuensi data hujan. Cara mendapatkan hujan maksimum harian rata-rata adalah sebagai berikut. 1) Menentukan hujan maksimum harian pada tahun tertentu di salah satu pos hujan. 2) Mencari besarnya curah hujan pada tanggal, bulan, dan tahun yang sama untuk pos hujan yang lain. 3) Menghitung hujan DAS dengan salah satu cara yang dipilih. 4) Menentukan hujan maksimum harian pada tahun yang sama untuk pos hujan yang lain. 5) Mengulangi langkah b dan c untuk setiap tahun. 6) Dari hasil rata-rata yang diperoleh dipilih yang tertinggi setiap tahunnya.

c. Analisis Intensitas Hujan Intensitas hujan adalah tinggi air hujan per satuan waktu. Sifat umum hujan adalah makin singkat hujan yang berlangsung, intensitasnya cenderung semakin tinggi dan periode ulangnya makin besar intensitasnya. Hubungan antara intensitas, lama hujan, dan frekuensi 23 hujan dinyatakan dengan lengkung Intensitas-Durasi-Frekuensi (IDF = Intensity, Duration, Frequency Curve). Untuk menentukan debit banjir rencana (design flood) perlu didapatkan harga suatu intensitas curah hujan terutama bila digunakan metode rasional. Intensitas curah hujan adalah ketinggian curah hujan yang terjadi pada suatu kurun waktu di mana air tersebut berkonsentrasi. Analisis intensitas curah hujan ini dapat diproses dari data curah hujan yang telah terjadi pada masa lampau. Untuk menghitung intensitas curah hujan dapat digunakan beberapa rumus empiris sebagai berikut. 1) Rumus Talbot Rumus ini banyak digunakan karena mudah diterapkan dan tetapantetapan a dan b ditentukan dengan harga-harga yang terukur.  $= \dots(19)$  Keterangan : I : intensitas hujan (mm/jam) t : lamanya hujan (jam) a dan b : konstanta yang tergantung pada lamanya hujan yang terjadi di DAS = [ . ] . [ ] [ ] [ ] [ ]  $\dots(20) = [ ] [ . ] . [ ] [ ] [ ] \dots(21) 24$  2) Rumus Sherman Rumus ini cocok untuk jangka waktu curah hujan yang lamanya lebih dari 2 jam.  $= \dots(22)$  Keterangan : I : intensitas hujan (mm/jam) t : lamanya hujan (jam) n : konstanta  $\log = [ ] ( ) [ . ] [ ] [ ( ) ] [ ] [ ] \dots(23) = [ ] [ ] [ . ] [ ( ) ] [ ] [ ] \dots(24)$  3) Rumus Ishiguro  $= \sqrt{\dots(25)}$  Keterangan : I : intensitas hujan (mm/jam) t : lamanya hujan (jam) a dan b : konstanta  $= \sqrt{\dots(26) = [ ] \cdot \sqrt{\dots(27) 25}$  4) Rumus Mononobe Rumus ini digunakan apabila data hujan jangka pendek tidak tersedia, yang ada hanya data hujan harian.  $= / \dots(28)$  Keterangan : I : intensitas hujan (mm/jam) t : lamanya hujan (jam)  $R_{24}$  : curah hujan maksimum harian selama 24 jam (mm) 5. Debit Banjir Rencana Metode yang biasa digunakan untuk menghitung debit banjir rencana umumnya sebagai berikut. a. Metode Rasional Metode untuk memperkirakan laju aliran permukaan puncak yang umum dipakai adalah metode Rasional USSCS (1973). Metode ini sangat simpel dan mudah penggunaannya, namun penggunaannya terbatas untuk DAS-DAS dengan ukuran kecil, yaitu kurang dari 300 ha. Karena model ini merupakan model kotak hitam, maka tidak dapat menerangkan hubungan curah hujan dan aliran permukaan dalam bentuk hidrograf. Metode rasional dikembangkan

berdasarkan asumsi bahwa hujan yang terjadi mempunyai intensitas seragam dan merata di seluruh DAS selama paling sedikit sama dengan waktu konsentrasi.  $= 0,0195 \times \dots$  (29) 26 Keterangan :  $t_c$  : waktu konsentrasi hujan (menit)  $L$  : jarak terjauh dari titik terjauh sampai saluran (km)  $S$  : kemiringan saluran Metode rasional ini dapat dinyatakan secara aljabar dengan persamaan sebagai berikut.  $= \dots$  (30) Keterangan :  $Q$  : debit puncak banjir ( $m^3/det$ )  $C$  : koefisien pengaliran  $A$  : luas daerah pengaliran ( $km^2$ )  $I$  : intensitas hujan (mm/jam) Suripin (2004) mengemukakan faktor utama yang mempengaruhi nilai  $C$  adalah laju infiltrasi tanah atau persentase lahan kedap air, kemiringan lahan, tanaman penutupan tanah dan intensitas hujan. Koefisien ini juga tergantung pada sifat dan kondisi tanah. Laju infiltrasi turun pada hujan yang terus-menerus dan juga dipengaruhi oleh kondisi kejenuhan air sebelumnya. Faktor lain yang juga mempengaruhi nilai  $C$  adalah air tanah, derajat kepadatan tanah, porositas tanah dan simpanan depresi. Berikut nilai  $C$  untuk berbagai tipe tanah dan penggunaan lahan (McGueen 1989 dalam Suripin 2003). 27 Tabel 6. Koefisien pengaliran ( $C$ ) untuk metode rasional

No.	Deskripsi lahan/karakter permukaan	Koefisien C
1.	Bisnis : - perkantoran - pinggir	0,70 - 0,95
2.	Perumahan : - rumah tinggal - multi unit terpisah - multi unit tergabung - perkampungan - apartemen	0,30 - 0,50
3.	Industri : - berat - ringan	0,50 - 0,80
4.	Perkerasan : - aspal dan beton - batu bata, paving	0,70 - 0,95
5.	Atap	0,75 - 0,95
6.	Halaman, tanah berpasir : - datar 2% - rata-rata 2-7% - curam 7%	0,05 - 0,10
7.	Halaman, tanah berat : - datar 2% - rata-rata 2-7% - curam 7%	0,13 - 0,17
8.	Hutan : - datar 0-5% - bergelombang 5-10% - berbukit 10-30%	0,10 - 0,40

Sumber : McGueen, 1989 dalam Suripin, 2003

b. Metode Haspers Perhitungan debit banjir dengan metode Haspers diberikan sebagai persamaan yang merupakan fungsi dari koefisien pengaliran, distribusi hujan, intensitas curah hujan, dan luas daerah pengaliran yang dirumuskan sebagai berikut.  $28 = \dots$  (31) Keterangan :  $Q$  : debit puncak banjir ( $m^3/detik$ )  $\alpha$  : koefisien pengaliran yang dapat dicari dengan rumus :  $= \dots$  (32)  $A$  : luas daerah pengaliran ( $km^2$ )  $\beta$  : koefisien distribusi curah hujan yang dapat dicari dengan rumus :  $= 1 + \dots$  (33)  $t$  : waktu puncak banjir (jam) yang dapat dicari dengan rumus :  $= 0,1 \times \dots$  (34)  $L$  : panjang sungai (km)  $i$  : kemiringan rata-rata daerah pengaliran  $q$  : intensitas curah hujan (mm/jam) yang dapat dicari dengan rumus :  $= \dots$  (34)  $= \dots$  (35)  $= \dots$  (36) Keterangan :  $L$  : panjang sungai (m)  $S$  : kemiringan sungai (desimal)  $H$  : beda tinggi dari tempat terjauh sampai outlet yang dimaksud (m) 2) Rumus Giandotti =  $\dots$  (37) Keterangan :  $t_c$  : waktu konsentrasi (jam)  $A$  : luas daerah tangkapan ( $km^2$ )  $L$  : panjang sungai utama atau alur (km)  $h$  : perbedaan antara tinggi rata-rata dari daerah tadah hujan dan ketinggian lokasi embung (m)

Nama : Herawati  
Nim : 192710015  
Tugas : UTS  
MatKul : Rekayasa Sistem dan Manajemen  
Dosen : Dr.Ir.H.Achmad Syarifudin,M.Sc

**Ujian Tengah semester :**

**Soal :**

**1. Buatlah Rumus Empiris dari Sumber Daya Air dan jelaskan variable terkait dengan kajian saudara tersebut.**

**Penyelesaian :**

### **Pengukuran Debit Mata Air**

pengukuran debit dari mata air untuk perencanaan dilakukan pada musim kemarau, dan jika mungkin dilakukan juga pada musim penghujan, sehingga diperoleh angka *realible yield* yang ekstrim (mendekati kenyataan sebenarnya). Pengukuran debit mata air dapat dilakukan dengan beberapa cara salah satunya adalah:

#### **1. METODE CHIPOLETTI**

Metode ini terjadi untuk (ambang trapezium) terbalik

Rumus Umum yang menghubungkan ketinggian muka air ( h ) dan debit air ( Q ) untuk alat ukur ambang chipoletti adalah sbb:

$$Q = \frac{2}{3} C_d L H^{3/2} \sqrt{2g}$$

Dimana  $C_d$  adalah koefisien Drag, jika aliran air terjadi kontraksi di muka ambang  $C_d = 0,63$  maka persamaan menjadi

$$Q = \frac{2}{3} (0,63) L h^{3/2} \sqrt{2g}$$

Maka persamaan menjadi

$$Q = 0,42 L h \sqrt{2gh}$$

Disederhanakan menjadi

Rumus yang digunakan untuk menghitung pengukuran debit:

$$Q = 1,9 L h^{3/2}$$

Dimana :

Q = Debit air (m<sup>3</sup>/detik)

L = Lebar ambang (m)

h = Tinggi air (m)

Metode Rectanguler (ambang persegi panjang) menggunakan rumus perhitungan :

$$Q = 1,9 (L - 0,2h) h^{3/2}$$

*Dimana :*

Q = Debit air (m<sup>3</sup>/detik)

L = Lebar ambang(m)

h = Tinggi air (m)

## Pengukuran Debit Air

### 1 Sekat Cipoletti

#### Alat yang diperlukan:

- 1) Sekat Trapesiodal yang sisi-sisi dalam sekat itu meruncing, seperti pada gambar 2, dibuat dari pelat logam (baja, aluminium, dan lain-lain) atau dari kayu lapis. Sekat ini tetap dipasang pada lokasi pengukuran atau hanya sementara saja.
- 2) Penggaris, tongkat ukur atau pita ukur.

#### Cara pengukuran:

- 1) Tempatkan sekat pada aliran (sungai kecil, pelimpahan mata air, dan sebagainya), yang akan diukur, pada posisi yang baik sehingga sekat betul-betul mendatar atau "h" pada kedua sisinya adalah sama;
- 2) Ukur "h" dengan penggaris, tongkat ukur atau pita ukur.

#### Perhitungan debit

Debit dihitung dengan persamaan:

$$Q = 0.0186 bh^{3/2}$$

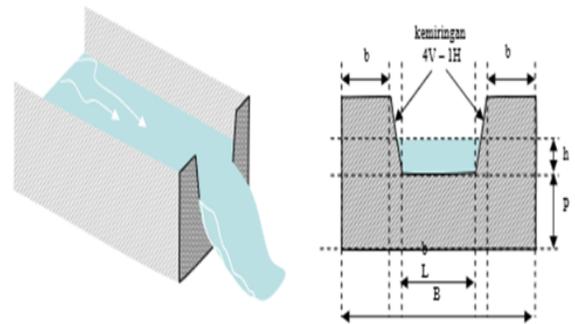
Dimana: Q dalam l/d

b dalam cm

h dalam cm

#### Keadaan untuk pengukuran:

- 1) Aliran di hulu dan di hilir sekat harus tenang;
- 2) Aliran hanya melalui sekat, tidak ada kebocoran pada bagian atas atau samping sekat;
- 3) Air harus mengalir bebas dari sekat, tidak menempel pada sekat (lihat Gambar 2).



Gambar Sekat Cipoletti

**PERHITUNGAN BALOK PRATEGANG (PCI - GIRDER)**  
**JEMBATAN LUBUK BUNTAL DESA DUSUN BARU PELOKAN KEC. XIV KOTO**  
**KABUPATEN MUKO MUKO PROVINSI BENGKULU**

**NAMA** : M FAISAL NOVRINASYAH  
**NIM** : 192710017  
**KONSENTRASI** : TRASPORTASI  
**DOSEN** : Assoc. Prof. Dr. Achmad Syarifudin  
**UTS** : REKAYASA SISTEM DAN MANAJEMEN



**DATA JEMBATAN**

Uraian	Notasi	Dimensi	
Panjang balok prategang	L	40,00	m
Jarak antara balok prategang	s	1,80	m
Tebal plat lantai jembatan	h <sub>o</sub>	0,20	m
Tebal lapisan aspal + overlay	h <sub>a</sub>	0,10	m
Tinggi genangan air hujan	t <sub>h</sub>	0,05	m

**SPESIFIC GRAVITY**

Jenis Bahan	Berat (kN/m <sup>3</sup> )
Beton prategang	w <sub>c</sub> = 25,50
Beton bertulang	w <sub>c</sub> = 25,00
Beton	w <sub>c</sub> = 24,00
Aspal	W <sub>aspal</sub> = 22,00
Air hujan	W <sub>air</sub> = 9,80

**DIMENSI BALOK PRESTRESS**

Kode	Lebar (m)	Kode	Tebal (m)
b1	0,6409	h1	0,0709
b2	0,8009	h2	0,1309
b3	0,3009	h3	0,1209
b4	0,2009	h4	1,6509
b5	0,2509	h5	0,2509
b6	0,7109	h6	0,2509
		h	2,1036

**1. BETON**

Mutu beton girder prestress :

Kuat tekan beton,

Modulus elastik beton,

Angka Poisson,

Modulus geser,

Koefisien muai panjang untuk beton,

Kuat tekan beton pada keadaan awal (saat transfer)

Tegangan ijin beton saat penarikan :

Tegangan ijin beton pada keadaan akhir :

K - 500	
$f_c' = 0.83 * K / 10 =$	41,5 Mpa
$E_c = 4700 * \sqrt{f_c'} =$	30277,6 Mpa
$\sigma =$	0,15
$G = E_c / [2 (1 + \sigma)] =$	13164,2 Mpa
$\alpha =$	1.0E-05 / °C

$f_c' = 0.80 * f_c' =$	33,20 Mpa
$0.60 * f_c' =$	19,92 Mpa
$0.50 * \sqrt{f_c'} =$	2,23 Mpa
$0.45 * f_c' =$	18,68 Mpa
$0.50 * \sqrt{f_c'} =$	3,22 Mpa

Mutu beton plat lantai jembatan :

Kuat tekan beton,

Modulus elastik beton,

K - 300	
---------	--

$f_c' = 0.83 * K / 10 =$	24,9 Mpa
$E_c = 4700 * \sqrt{f_c'} =$	23453,0 Mpa

DATA STRANDS CABLE - STANDAR VSL			
Jenis strands	Uncoated 7 wire super strands ASTM A-416 grade 270		
Tegangan leleh strand	$f_{py} =$	1580	Mpa
Kuat tarik strand	$f_{pu} =$	1860	Mpa
Diameter nominal strands		12,7	mm (=1/2")
Luas tampang nominal satu strands	$A_{st} =$	98,7	mm <sup>2</sup>
Beban putus minimal satu strands	$P_{bs} =$	187,32	kN (100% UTS)
Jumlah kawat untaian (strands cable)		19	kawat untaian / tendon
Diameter selubung ideal		84	mm
Luas tampang strands		1875,3	mm <sup>2</sup>
Beban putus satu tendon	$P_{b1} =$	3559,1	kN (100% UTS)
Modulus elastis strands	$E_s =$	193000	Mpa
Tipe dongkrak		VSL 19	

**2. BAJA TULANGAN**

Untuk baja tulangan deform D > 12 mm		U - 32	Kuat leleh baja	$f_y = U * 10 =$	320	Mpa
Untuk baja tulangan polos $\varnothing \leq 12$ mm		U - 24	Kuat leleh baja	$f_y = U * 10 =$	240	Mpa

### 3. SECTION PROPERTIES BALOK PRATEGANG

NO	DIMENSI		Luas Tampang A (m <sup>2</sup> )	Jarak thd alas y (m)	Statis Momen A * y (m <sup>3</sup> )	Inersia Momen A * y <sup>2</sup> (m <sup>4</sup> )	Inersia Momen I <sub>o</sub> (m <sup>4</sup> )
	Lebar b (m)	Tinggi h (m)					
1	0,6409	0,07	0,04486	2,07	0,09287	0,19223	0,00002
2	0,8009	0,13	0,10412	1,97	0,20511	0,40407	0,00015
3	0,3009	0,12	0,03611	1,86	0,06716	0,12492	0,00003
4	0,2009	1,65	0,33149	1,08	0,35800	0,38664	0,07521
5	0,2509	0,25	0,06273	0,33	0,02070	0,00683	0,00022
6	0,7109	0,25	0,17773	0,13	0,02310	0,00300	0,00093
Total :			0,75702		0,76695	1,11770	0,07654

Tinggi total balok prategang :	h =	2,1036	m	h <sub>o</sub> =	0,20	m
Luas penampang balok prategang :	A =	0,7570	m <sup>2</sup>	b <sub>eff</sub> =	1,18	m
Letak titik berat :	y <sub>b</sub> = ΣA*y / ΣA =	1,0131	m	y <sub>a</sub> = h - y <sub>b</sub> =	1,0905	m

Momen inersia terhadap alas balok :

Momen inersia terhadap titik berat balok :

Tahapan momen sisi atas :

Tahapan momen sisi bawah :

I <sub>b</sub> = Σ A*y <sup>2</sup> + Σ I <sub>o</sub> =	1,19424	m <sup>4</sup>
I <sub>x</sub> = I <sub>b</sub> - A * y <sub>b</sub> <sup>2</sup> =	0,41724	m <sup>4</sup>
W <sub>a</sub> = I <sub>x</sub> / y <sub>a</sub> =	0,38262	m <sup>3</sup>
W <sub>b</sub> = I <sub>x</sub> / y <sub>b</sub> =	0,41185	m <sup>3</sup>

### 4. SECTION PROPERTIES BALOK COMPOSIT (BALOK PRATEGANG + PLAT)

NO	DIMENSI		Luas Tampang A (m <sup>2</sup> )	Jarak thd alas y (m)	Statis Momen A * y (m <sup>3</sup> )	Inersia Momen A * y <sup>2</sup> (m <sup>4</sup> )	Inersia Momen I <sub>o</sub> (m <sup>4</sup> )
	Lebar b (m)	Tinggi h (m)					
0	1,180	0,20	0,23600	2,20	0,51920	1,14224	0,00079
1	0,6409	0,07	0,04486	2,07	0,09287	0,19223	0,00002
2	0,8009	0,13	0,10412	1,97	0,20511	0,40407	0,00015
3	0,3009	0,12	0,03611	1,86	0,06716	0,12492	0,00003
4	0,2009	1,65	0,33149	1,08	0,35800	0,38664	0,07521
5	0,2509	0,25	0,06273	0,33	0,02070	0,00683	0,00022
6	0,7109	0,25	0,17773	0,13	0,02310	0,00300	0,00093
Total :			0,99302		1,28615	2,25994	0,07733

Tinggi total balok Composit :	h <sub>c</sub> =	2,3036	m	h <sub>c</sub> = h <sub>c</sub> - y <sub>bc</sub> =	1,0084	m
Luas penampang balok composit :	A <sub>c</sub> =	0,99302	m <sup>2</sup>	I <sub>bc</sub> = Σ A <sub>c</sub> *y <sup>2</sup> + Σ I <sub>co</sub> =	2,33727	m <sup>4</sup>
Letak titik berat :	y <sub>bc</sub> = ΣA <sub>c</sub> *y / ΣA <sub>c</sub> =	1,2952	m	I <sub>xc</sub> = I <sub>bc</sub> - A <sub>c</sub> * y <sub>bc</sub> <sup>2</sup> =	0,67148	m <sup>4</sup>
Momen inersia terhadap alas balok :				W <sub>ac</sub> = I <sub>xc</sub> / y <sub>ac</sub> =	0,66587	m <sup>3</sup>
Momen inersia terhadap titik berat balok :				W' <sub>ac</sub> = I <sub>xc</sub> / (y <sub>ac</sub> - h <sub>o</sub> ) =	0,82367	m <sup>3</sup>
Tahapan momen sisi atas :				W <sub>bc</sub> = I <sub>xc</sub> / y <sub>bc</sub> =	0,51844	m <sup>3</sup>
Tahapan momen sisi bawah :						

### 5. PEMBEBANAN BALOK PRATEGANG

#### 5.1. BERAT SENDIRI (MS)

##### 5.1.1. BERAT DIAFRAGMA

Ukuran diafragma :	Tebal =	0,20	m	Lebar =	1,60	m	Tinggi =	1,60	m
Berat 1 buah diafragma,	W =	12,8	kN						
Jumlah diafragma,	n =	9		Berat diafragma,	W <sub>diafragma</sub> =	115,2	kN		
Panjang bentang,	L =	40,00	m						
Jarak diafragma :	x <sub>4</sub> =	20,00	m	(dari tengah bentang)					
	x <sub>3</sub> =	14,80	m	(dari tengah bentang)					
	x <sub>2</sub> =	9,80	m	(dari tengah bentang)					
	x <sub>1</sub> =	4,80	m	(dari tengah bentang)					
	x <sub>0</sub> =	0,00	m	(dari tengah bentang)					

Momen maks di tengah bentang L,	M <sub>max</sub> = ( 1/2 * n * x <sub>4</sub> - x <sub>3</sub> - x <sub>2</sub> - x <sub>1</sub> ) * W =	775,680	kNm
Berat diafragma ekuivalen,	Q <sub>diafragma</sub> = 8 * M <sub>max</sub> / L <sup>2</sup> =	3,878	kN/m

##### 5.1.2. BERAT BALOK PRATEGANG

Panjang balok prategang,	L =	40,00	m	Luas penampang,	A =	0,752	M2
Berat balok prategang + 10%				W <sub>balok</sub> = A * L * W <sub>c</sub> =		767,0	kN

$$Q_{\text{balok}} = W_{\text{balok}} / L = 19,176 \text{ kN/m}$$

### 5.1.3. GAYA GESER DAN MOMEN AKIBAT BEBAT SENDIRI (MS)

Beban,  $Q_{\text{ms}} = A * w$  kN/m Panjang bentang,  $L = 40,00$  m  
 Gaya geser,  $V_{\text{ms}} = 1/2 * Q_{\text{ms}} * L$  kN  
 Momen,  $M_{\text{ms}} = 1/8 * Q_{\text{ms}} * L^2$  kNm

No	Jenis beban berat sendiri	Lebar (m) b	Tebal (m) h	Luas (m <sup>2</sup> ) A	Berat sat w (kN/m <sup>3</sup> )	Beban Q <sub>ms</sub> (kN/m)	Geser V <sub>ms</sub> (kN)	Momen M <sub>ms</sub> (kNm)
1	Balok prategang					19,176	383,520	3835,200
2	Plat lantai	1,80	0,20	0,360	25,00	9,000	180,000	1800,000
3	Deck slab	1,16	0,07	0,081	25,00	2,030	40,600	406,000
4	Diafragma					3,878	77,568	775,680
Total :						34,092	681,840	6818,400

## 6. GAYA PRATEGANG, EKSENTRISITAS, DAN JUMLAH TENDON

### 6.1. KONDISI AWAL (SAAT TRANSFER)

Mutu beton, K - 500 Kuat tekan beton,  $f'_c = 0.83 * K * 100 = 41500$  kPa  
 Kuat tekan beton pada kondisi awal (saat transfer),  $f'_{ci} = 0.80 * f'_c = 33200$  kPa  
 Section properties,  $W_a = 0,38262$  m<sup>3</sup>  $W_b = 0,41185$  m<sup>3</sup>  $A = 0,752$  m<sup>2</sup>

Ditetapkan jarak titik berat tendon terhadap alas balok,  $z_o = 0,1375$  m  
 Eksentrisitas tendon,  $e_s = y_b - z_o = 1,1577$  m  
 Momen akibat berat sendiri balok,  $M_{\text{balok}} = 3835,200$  kNm  
 Tegangan di serat atas,  $0 = -P_t / A + P_t * e_s / W_a - M_{\text{balok}} / W_a$  (persamaan 1)  
 Tegangan di serat bawah,  $0.6 * f'_{ci} = -P_t / A - P_t * e_s / W_b + M_{\text{balok}} / W_b$  (persamaan 1)  
 Besarnya gaya prategang awal,  
 Dari persamaan (1) :  $P_t = M_{\text{balok}} / (e_s - W_a / A) = 10406,49$   
 Dari persamaan (2) :  $P_t = [0.60 * f'_{ci} * W_b + M_{\text{balok}}] / (W_b / A + e_s) = 8451,26$   
 → Diambil besarnya gaya prategang,  $P_t = 8451,26$  kN

### 6.2. KONDISI AKHIR

Digunakan kabel yang terdiri dari beberapa kawat baja untai "Stands cable" standar VSL, dengan data sbb. :

DATA STRANDS CABLE - STANDAR VSL		
Jenis strands	Uncoated 7 wire super strands ASTM A-416 grade 270	
Tegangan leleh strand	$f_{py} = 1580000$ kPa	
Kuat tarik strand	$f_{pu} = 1860000$ kPa	
Diameter nominal strands	0,01270 m (1/2")	
Luas tampang nominal satu strands	$A_{st} = 0,00010$ m <sup>2</sup>	
Beban putus minimal satu strands	$P_{bs} = 187,32$ kN	(100% UTS atau 100% beban putus)
Jumlah kawat untai (strands cable)	19	kawat untai tiap tendon
Diameter selubung ideal	84	mm
Luas tampang strands	0,00188	m <sup>2</sup>
Beban putus satu tendon	$P_{b1} = 3559,08$ kN	(100% UTS atau 100% beban putus)
Modulus elastis strands	$E_s = 1,90E+08$ kPa	
Tipe dongkrak	VSL 19	

Gaya prategang awal :  $P_t = 8451,26$  kN  
 Beban putus satu tendon :  $P_{b1} = 3559,08$  kN  
 Beban putus minimal satu strand :  $P_{bs} = 187,32$  kN  
 Gaya prategang jacking :  $P_j = P_{t1} / 0.85$  persamaan (1)  
 $P_j = 0.80 * P_{b1} * n_t$  persamaan (1)

Dari persamaan (1) dan (2) diperoleh jumlah tendon yang diperlukan :

$$n_t = P_t / (0.85 * 0.80 * P_{b1}) = 3,492 \text{ Tendon}$$

$$\text{Diambil jumlah tendon, } n_t = 4 \text{ Tendon}$$

Jumlah kawat untai (strands cable) yang diperlukan,

$$n_s = P_t / (0.85 * 0.80 * P_{bs}) = 66,348 \text{ strands}$$

$$\text{Diambil jumlah strands, } n_s = 69 \text{ strands}$$

Posisi Baris Tendon :

$n_{s1} = 3$	Tendon	19	strands / tendon =	57	strands dg. selubung tendon =	84	mm
$n_{s2} = 1$	Tendon	12	strands / tendon =	12	strands dg. selubung tendon =	76	mm
$n_t = 4$	Tendon	Jumlah strands,	$n_s = 69$	strands			

Persentase tegangan leleh yang timbul pada baja (% Jacking Force) :

$$p_o = P_t / (0.85 * n_s * P_{bs}) = 76,925\% < 80\% \text{ (OK)}$$

Gaya prategang yang terjadi akibat jacking :

$$P_j = p_o * n_s * P_{bs} = 9942,66\% \text{ kN}$$

Diperkirakan kehilangan tegangan (loss of prestress) = 30%

Gaya prategang akhir setelah kehilangan tegangan (loss of prestress) sebesar 30% :

$$P_{\text{eff}} = 70\% * P_j = 6959,86 \text{ kN}$$

### 6.3. PEMBESIAN BALOK PRATEGANG

Tulangan arah memanjang digunakan besi diameter

$$A_s = \pi / 4 * D_2^2 = 0,00013 \text{ m}^2$$

Luas tampang bagian bawah :

$$A_{\text{bawah}} = 0,28750 \text{ m}^2$$

Luas tulangan bagian bawah :

$$A_{s \text{ bawah}} = 0,5\% * A_{\text{bawah}} = 0,00144 \text{ m}^2$$

$$\text{Jumlah tulangan} = A_{s \text{ bawah}} / (\pi/4 * D^2) =$$

$$10,83 \text{ buah}$$

Digunakan : 12 D 13

Luas tampang bagian atas :

$$A_{\text{atas}} = 0,20880 \text{ m}^2$$

Luas tulangan bagian atas :

$$A_{s \text{ atas}} = 0,5\% * A_{\text{atas}} = 0,00104 \text{ m}^2$$

$$\text{Jumlah tulangan} = A_{s \text{ atas}} / (\pi/4 * D^2) =$$

$$7,87 \text{ buah}$$

Digunakan : 10 D 13

Luas tampang bagian badan :

$$A_{\text{badan}} = 0,33000 \text{ m}^2$$

Luas tulangan susut memanjang bagian badan :

$$A_{s \text{ badan}} = 0,5\% * A_{\text{badan}} = 0,00165 \text{ m}^2$$

$$\text{Jumlah tulangan} = A_{s \text{ badan}} / (\pi/4 * D^2) =$$

$$12,43 \text{ buah}$$

Digunakan : 14 D 13

### 6.4. POSISI TENDON

#### 6.4.1. POSISI TENDON DI TENGAH BENTANG

Diambil jarak dari alas balok ke as baris tendon ke-1 :

Jumlah tendon baris ke-1 :	$n_{t1} =$	3,00	tendon	19	strands	=	57	strands
Jumlah tendon baris ke-2 :	$n_{t2} =$	1,00	tendon	12	strands	=	12	strands
	$n_t =$	4,00	tendon	Jumlah strands,		$n_s =$	69	strands
Eksentrisitas,	$e_s =$	0,874					m	
	$z_o = y_b - e_s =$	0,138					m	

$y_d$  = jarak vertikal antara as ke as tendon,

Momen statis tendon terhadap alas :

$$n_s * z_o = n_1 * a + n_2 * (a + y_d)$$

$$y_d = n_s * (z_o - a) / n_2 = 0,216 \text{ m}$$

Diambil,

$$y_d = 0,150 \text{ m}$$

Diameter selubung tendon,

$$d_t = 0,076 \text{ m}$$

Jarak bersih vertikal antara selubung tendon,

$$y_d - d_t = 0,074 \text{ m}$$

> 25 mm (OK)

#### 6.4.2. POSISI TENDON DI TUMPUAN

Diambil jarak dari alas balok ke as baris tendon ke-4 :

$$a' = 0,35 \text{ m}$$

Jumlah tendon baris ke-1 :	$n_1 =$	1	12	strands	=	12	strands
Jumlah tendon baris ke-2 :	$n_2 =$	1	19	strands	=	19	strands
Jumlah tendon baris ke-3 :	$n_3 =$	1	19	strands	=	19	strands
Jumlah tendon baris ke-4 :	$n_4 =$	1	19	strands	=	19	strands
				Jumlah strands,	$n_s =$	69	strands

$y_e$  = Letak titik berat tendon terhadap pusat tendon terbawah

Letak titik berat penampang balok terhadap alas,

$$y_b = 1,012 \text{ m}$$

Momen statis tendon terhadap pusat tendon terbawah :

$n_i$	$y_{d'}$	$n_i * y_{d'}$
12	0	0
19	1	19
19	2	38
19	3	57
$\sum n_i * y_{d'}$		114

$$\sum n_i * y_{d'} = n_s * y_e$$

$$y_e / y_{d'} = [\sum n_i * y_{d'}] / n_s = 1,652$$

$$y_e = y_b - a' = 0,662 \text{ m}$$

$$y_{d'} = y_e / [y_e / y_{d'}] = 0,401 \text{ m}$$

$$z_o = a' + y_e = y_b = 1,012 \text{ m}$$

#### 6.4.3. EKSENTRISITAS MASING-MASING TENDON

Nomor Tendon	Posisi Tendon di Tumpuan $x = 0,00 \text{ m}$	$z_r$ (m)	Nomor Tendon	Posisi Tendon di Tengah Bentang $x = 20,00$	$z_r$ (m)	$f_i = z_r - z_i$ (m)
1	$z_1 = a' + 3 * y_{d'}$	1,552	1	$z_1 = a + y_d$	0,250	1,302
2	$z_2 = a' + 2 * y_{d'}$	1,151	2	$z_2 = a$	0,100	1,051
3	$z_3 = a' + y_{d'}$	0,751	3	$z_3 = a$	0,100	0,651
4	$z_4 = a'$	0,350	4	$z_4 = a$	0,100	0,250

Nama : Mario Ibrahim  
NIM : 192710024  
Mata Kuliah : Rekayasa Sistem dan Manajemen  
Dosen : Dr.Ir.H.Achmad Syarifudin,M.Sc

---

### UJIAN TENGAH SEMESTER

Soal :

1. Buatlah Rumus Empiris dari Sumber Daya Air dan jelaskan variable terkait dengan kajian saudara tersebut.

Penyelesaian :

#### Pengukuran Debit Mata Air

Pengukuran debit dari mata air untuk perencanaan dilakukan pada musim kemarau, dan jika mungkin dilakukan juga pada musim penghujan, sehingga diperoleh angka *realible yield* yang ekstrim (mendekati kenyataan sebenarnya). Pengukuran debit mata air dapat dilakukan dengan beberapa cara diantaranya adalah:

#### **METODE THOMPSON**

Pengukuran dengan metode ini cocok dilakukan pada kondisi sungai yang tidak lebar dengan aliran yang seragam (uniform) sehingga lebar ambang tersebut bisa memuat lebar sungai yang ada (tidak ada air yang lolos dari pengukuran).

Rumus yang digunakan untuk menghitung pengukuran debit:

$$Q = 0,135 h^{3/2}$$

Jika  $h = 8,5 \text{ cm}$  maka didapat  $Q = 3,35 \text{ l/dt}$

Dimana

$Q = \text{Debit ( liter/detik)}$

$h = \text{Tinggi ambang muka air (cm)}$

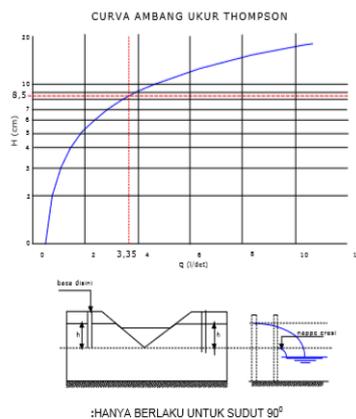
## 2. Sekat Thompson (V-Notch)

Alat yang diperlukan:

- (1) Sekat V-notch, dibuat dari pelat logam (baja, aluminium, dan lain-lain) atau dari kayu lapis;
- (2) Penggaris, tongkat ukur atau pita ukur.

Cara Pengukuran:

- 1) Tempatkan sekat pada aliran yang akan diukur, pada posisi yang baik sehingga sekat betul-betul mendatar atau "h" pada kedua sisinya adalah sama
- 2) Ukur  $h$  dengan penggaris, tongkat ukur dan pita ukur.



Gambar Kurva Ambang Ukur Thompson

**PERSAMAAN:**

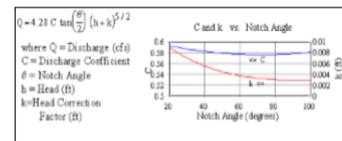
$$Q = 0,135H^{3/2}$$

Pada  $H = 8,5 \text{ cm}$ ;  $Q = 3,35 \text{ l/det}$

**Persamaan Pintu Ukur V-notch**

**Persamaan V-Notch sesuai Standar:**

Persamaan V-notch telah distandarkan oleh ISO (1980), ASTM (1993), and USBR (1997) semuanya memberikan hasil menggunakan Kindsvater-Shen equation. Contoh penggunaan persamaan tersebut adalah seperti dibawah ini. Dimana  $Q$  dalam unit cfs dan tinggi dalam unit ft. Diberikan dibawah ini kurva untuk  $C$  dan  $k$  vs sudut. Pada standar yang ada tidak diberikan persamaan untuk menyusun kurva tersebut, sehingga satu satunya jalan adalah menggunakan kurva tersebut.



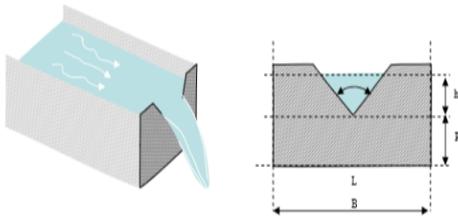
$$C = 0.607165052 - 0.000874466963 \theta + 6.10393334 \times 10^{-8} \theta^2$$

$$k \text{ (ft.)} = 0.0144902648 - 0.0003395535 \theta + 3.29819003 \times 10^{-8} \theta^2 - 1.06215442 \times 10^{-8} \theta^3$$

$\theta$  adalah sudut notch dalam derajat

Cara pengukuran

1. aliran di hulu dan di hilir sekat harus tenang.
2. aliran hanya melalui sekat, tidak ada kebocoran pada bagian atas atau samping sekat.
3. Aliran harus mengalir bebas dari sekat, tidak menempel pada sekat (lihat Gambar 5).



**Gambar Sekat Thompson (V-notch)**

- $h$  harus diukur pada minimal  $2h$  dibagian hulu pintu ukur.
- Tebal ambang ukur antara 0,8 sd 2 mm.
- Permukaan air dibagian hilir harus min 6 cm dibawah "ambang ukur bagian bawah".
- $h$  harus  $> 6$  cm untuk menghindari kesalahan ukur.
- Persamaan dikembangkan untuk  $h$  antara 38 cm dan  $h/P < 2,4$ .
- Persamaan dikembangkan untuk V-notch yang sempurna, dalam arti  $h/B$  harus  $\leq 0,2$ .
- Lebar saluran rata-rata ( $B$ ) harus  $> 91$  cm.
- Bagian bawah V-notch harus min. 45 cm diatas bagian dasar saluran bagian hulu

Apabila alat ukur tidak memenuhi ketentuan diatas, maka alat ukur disebut alat ukur "V-notch yang tidak sempurna". Dimana:

- $h/B$  yang dibutuhkan  $\leq 0,4$ .
- Dasar ambang ukur bagian bawah cukup 10 cm diatas dasar saluran sebelah hulu.
- Lebar saluran cukup dengan 10 cm, dan  $h$  bisa sampai 61 cm (V-Notch sempurna mempunyai  $h$  38 cm)
- Grafik C yang digunakan berbeda, graphic memberikan hubungan antara C sebagai fungsi dari  $h/P$  dan  $P/B$  dan hanya berlaku untuk V-Notch dengan sudut 90°
- Pada Standar USBR, 1997 dapat dilihat bahwa Nilai C bergerak dari 0,576 sd 0,6; sedangkan pada V-Notch sempurna dengan sudut 90°, nilai C adalah 0,578.

# MTS-271203

Rekayasa System & Manajemen  
RM. Edwar/192710014  
Tugas#RMK

## PERCEPATAN WAKTU PELAKSANAAN PROYEK DENGAN METODE CPM DAN APLIKASI PROGRAM LINIER PADA PROYEK REHABILITASI DI SIDOREJO KABUPATEN GROBOGAN

### PENDAHULUAN

Proyek konstruksi adalah rangkaian kegiatan untuk membangun atau mendirikan suatu bangunan pada lokasi tertentu, dengan waktu yang tertentu/ terbatas, tidak berulang dan hasilnya bersifat unik (Hariyanto,2003). Proyek yang siap dibangun, diupayakan sudah ditetapkan batasan teknis, waktu dan biaya. Waktu atau jadwal proyek harus dikerjakan sesuai kurun waktu dan tanggal akhir yang telah ditentukan. Anggaran proyek harus diselesaikan dengan biaya tidak melebihi anggaran yang telah ditetapkan/direncanakan. Mutu produk atau hasil kegiatan proyek harus memenuhi spesifikasi dan kriteria yang dipersyaratkan. Sehingga ukuran keberhasilan dari suatu proyek akan ditinjau/ dan dikaitkan dengan sejauh mana ketiga sasaran tersebut dapat dipenuhi.

Perencanaan adalah bagian yang sangat penting dalam pelaksanaan suatu proyek konstruksi. Perencanaan dilakukan berdasarkan tujuan proyek yang ingin dicapai. Menurut Kerzner (1989), terdapat tiga hal yang penting dalam proyek, yaitu mutu, biaya dan waktu. Dalam perencanaan suatu proyek, seorang pengambil keputusan seringkali dihadapkan pada suatu pilihan dalam menetapkan sumberdaya yang tepat, misalnya jumlah tenaga kerja, peralatan, metoda dan teknologi untuk melaksanakan suatu kegiatan proyek konstruksi. Setiap pilihan yang ditetapkan akan berpengaruh pada waktu, biaya dan, mutu dari suatu kegiatan, yang pada akhirnya akan mempengaruhi waktu penyelesaian dan biaya keseluruhan proyek. Waktu dan biaya merupakan dua hal yang penting dalam pelaksanaan pekerjaan konstruksi selain mutu, karena biaya yang akan dikeluarkan pada saat pelaksanaan sangat erat kaitannya dengan waktu pelaksanaan pekerjaan.

Penjadwalan merupakan bagian dari perencanaan proyek konstruksi yang merupakan gambaran dari suatu proses pelaksanaan dan pengendalian proyek. Dari penjadwalan akan tampak uraian pekerjaan, durasi (waktu) setiap kegiatan, waktu mulai dan akhir kegiatan dan hubungan antar

masing-masing kegiatan. Dengan diketahuinya kurun waktu pelaksanaan proyek, sering kali timbul pertanyaan apakah waktu penyelesaian proyek tersebut sudah optimal, atau dapatkah waktu penyelesaian proyek dipercepat (Soeharto,1999 ).

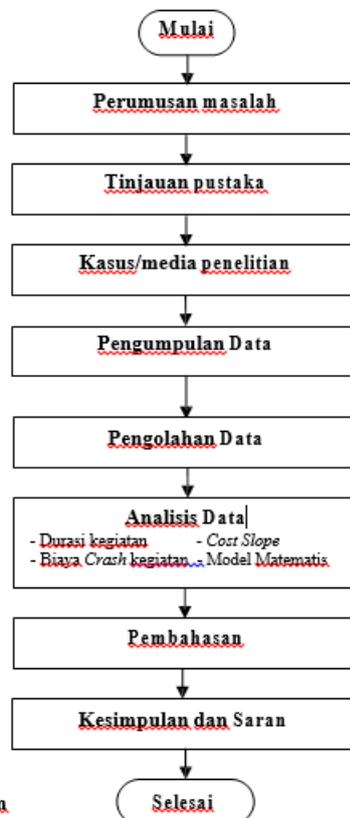
Setiap usaha untuk mempercepat waktu pelaksanaan proyek pada umumnya akan mengakibatkan kenaikan biaya langsung proyek. Dengan menambah jam kerja, menambah tenaga kerja, menambah peralatan atau menggunakan peralatan yang produktifitasnya lebih tinggi dapat mempercepat waktu pelaksanaan, tetapi biaya langsung untuk itu akan lebih mahal. Hal ini memberikan kondisi yang dilematis sehingga diperlukan usaha agar proyek dapat dilaksanakan dengan biaya dan waktu yang optimal. Berdasarkan latar belakang diatas maka permasalahan yang terjadi adalah bagaimana mempercepat waktu pelaksanaan proyek dengan biaya percepatan yang minimum sehingga dihasilkan waktu dan biaya yang optimal.

Tujuan penelitian ini adalah mempercepat waktu pelaksanaan proyek dari jadwal normal dengan cara menambah jam kerja atau lembur dengan biaya percepatan yang minimum untuk menentukan waktu dan biaya total yang optimal dengan menggunakan metode *Critical Path Method* (CPM)

### METODE PENELITIAN

Jenis penelitian ini adalah penelitian terapan (*applied research*). Proses penelitian dimulai dari perumusan masalah untuk menentukan fokus dan masalah yang akan dibahas dalam penelitian. Dilanjutkan dengan kajian pustaka untuk mengetahui sejauh mana kajian terhadap masalah yang akan diteliti dan pustaka mana yang menunjang. Proses selanjutnya yaitu melakukan pencarian proyek yang dapat dijadikan media penerapan masalah. Data yang diperlukan didapatkan langsung dari dokumen proyek. Setelah semua data yang diperlukan diperoleh, maka proses selanjutnya adalah mengolah data.

Hasil dari pengolahan data dianalisis dan dibahas untuk kemudian disimpulkan. Obyek penelitian adalah Pekerjaan Rehabiltasi Daerah Irigasi Sidorejo, Kabupaten Grobogan. Diagram alir metode penelitian dapat dilihat pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Diagram Alir Metode Penelitian

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Berdasarkan jaringan kerja (NWP) dan *Float* dari setiap kegiatan dapat diketahui lintasan kritis dan kegiatan – kegiatan kritis

**Tabel 1. Perhitungan Total Float dan Free Float**

NO	URAIAN KEGIATAN	DURASI	PALING CEPAT		PALING LAMBAH		TOTAL		FREE	KRT
			ES	EF	LS	LF	TF	FF		
I	PEKERJAAN PERSELESIAN	K01	14	0	14	0	14	0	0	Kritis
II	PEKERJAAN SALURAN									
1	Selatan Dangkal 300mm									
1	1. Hewan Ready mix K. 173	K02	25	152	180	152	180	0	0	Kritis
2	2. Hewan K. 100	K03	25	84	115	84	115	0	0	Kritis
3	3. Uap beton	K04	23	159	152	119	122	0	0	Kritis
4	4. Uap beton Multiplek	K05	14	159	152	119	122	19	19	
5	5. Memasang pipa PVC dia. 2"	K06	28	70	88	70	122	54	0	
6	6. Memasang pipa 200mm	K07	14	70	84	70	84	0	0	Kritis
7	7. Memasang beton Tlo lama dan baru	K08	23	14	48	14	48	0	0	Kritis
8	8. Memasang beton Tlo lama dan baru (M <sub>10</sub> - 4 Ps 0 = 4 cm)	K09	24	48	78	48	70	0	0	Kritis
9	9. Memasang beton Dangkal 400-400	K10	25	70	105	70	145	48	0	
10	10. Uap beton 20"	K11	21	105	126	145	166	48	0	
11	11. Memasang beton 30"	K12	14	126	180	166	189	48	48	
12	12. Memasang beton Memasang beton 300mm - 300mm A 12-300	K13	24	119	152	119	152	12	12	
13	13. Uap beton 200mm	K14	20	48	180	48	180	61	61	
14	14. Water Stop	K15	28	28	180	152	180	24	24	
15	15. Uap beton 200mm (Dipadatkan)	K16	7	152	180	152	180	21	21	
III	PEKERJAAN SAMBANGUNAN									
1	1. Memasang Selang	K17	11	180	180	159	180	51	51	
2	2. Memasang beton Dangkal (H.Sr. 10)									
1	1. Memasang beton 100-100-400	K18	1	61	66	114	117	51	1	
2	2. Memasang (R <sub>10</sub> ) Ps	K19	14	24	180	145	159	51	1	
3	3. Hewan 400-300	K20	25	66	94	117	145	51	1	
4	4. Hewan Ready Mix K. 173	K21	42	162	247	124	166	19	1	
5	5. Uap beton	K22	42	62	205	82	124	19	1	
6	6. Uap beton 200mm	K23	21	28	48	47	65	19	1	
7	7. Memasang	K24	7	154	180	172	180	19	19	
8	8. Dred sand	K25	7	126	152	166	172	40	1	
9	9. Memasang beton Lantai	K26	14	14	18	24	47	19	1	
10	10. Hewan K. 100	K27	14	48	62	68	114	21	0	
11	11. Memasang pipa 200mm dia. 2"	K28	7	122	180	172	180	48	48	
12	12. Water Stop Memasang Selang, 5 = 240mm	K29	28	185	221	124	172	48	1	
13	13. Water Stop Construction Selang, 5 = 240mm	K30	28	185	221	124	166	22	1	
14	14. Uap Beton	K31	7	122	249	166	172	22	1	
15	15. Uap Beton	K32	7	148	180	172	180	22	22	
16	16. Dred sand dia. 100 mm, 100 cm	K33	21	185	226	124	168	48	1	
17	17. Memasang Uap Dred sand Memasang 200mm dia. 2"	K34	14	24	208	145	159	41	1	
18	18. Memasang Uap Dred sand dia. 2"	K35	7	122	180	172	180	48	48	
19	19. Memasang beton 200mm	K36	14	48	62	68	82	19	1	
20	20. Dred sand	K37	7	147	154	166	172	19	1	
21	21. Uap Beton Dred sand	K38	14	24	180	145	180	72	72	
22	22. Memasang beton Memasang 200mm (H.Sr. 10)	K39	7	84	91	145	152	61	0	
23	23. Memasang 200mm (H.Sr. 1)	K40	21	62	84	124	145	61	0	
24	24. Memasang (H.Sr. 20)	K41	7	21	58	152	129	61	0	
25	25. Memasang (H.Sr. 20)	K42	7	28	102	129	166	61	0	
26	26. Memasang Selang (H.Sr. 20)	K43	7	185	112	126	172	61	0	
27	27. Memasang (H.Sr. 20)	K44	7	122	159	172	180	61	61	
28	28. Memasang Uap Memasang (H.Sr. 20)	K45	21	84	112	145	166	61	7	
29	29. Memasang (H.Sr. 20)	K46	7	122	119	166	172	44	0	
30	30. Memasang 200mm (H.Sr. 20)	K47	7	188	115	159	166	21	0	
31	31. Memasang 200mm (H.Sr. 20)	K48	7	125	121	166	172	21	0	
32	32. Memasang (H.Sr. 20)	K49	7	122	180	172	180	21	21	
33	33. Memasang Uap (H.Sr. 20)	K50	21	42	62	102	124	61	0	
34	34. Memasang 200mm (H.Sr. 20)	K51	7	119	180	172	180	24	24	
35	35. Memasang (H.Sr. 4 = 18 and 7 = 18)									
1	1. Hewan Ready Mix K. 173	K52	21	62	180	159	180	56	56	
2	2. Uap beton	K53	28	62	62	121	128	26	1	
3	3. Uap beton	K54	7	28	25	59	121	26	0	
4	4. Uap beton	K55	14	28	42	59	102	61	0	

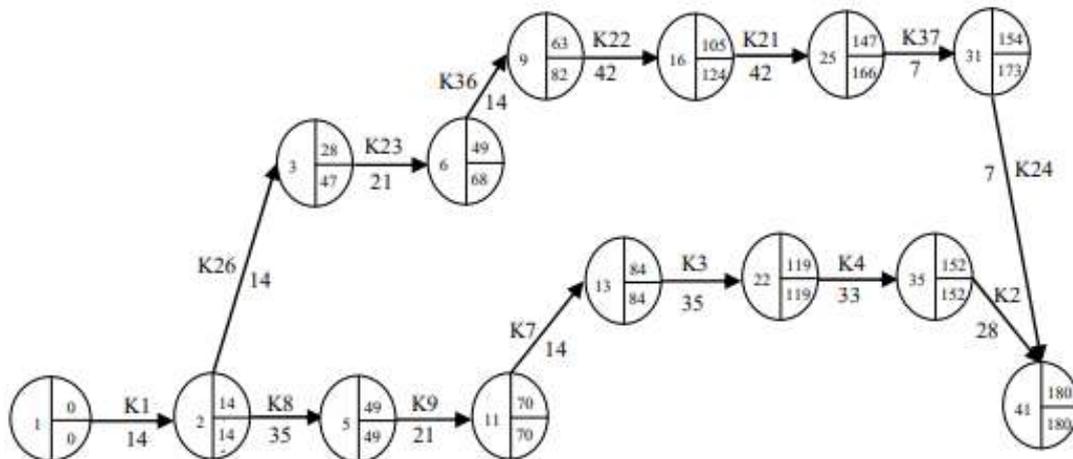
Sumber: Aplikasi data project

**Tabel 2. Waktu dan biaya kondisi normal dan crash**

Kegiatan	Normal		Crash		COST SLOPE (Rp)
	Waktu (Hari)	Biaya Langsung (Rp)	Waktu (Hari)	Biaya Langsung (Rp)	
K2	28	21.142.662,00	21	31.713.991,68	1.510.189,95
K3	35	16.093.350,00	27	23.450.308,98	919.619,87
K4	33	11.193.051,60	25	16.619.986,11	678.366,81
K7	14	1.043.280,00	11	1.490.399,40	149.039,80
K8	35	43.489.689,60	27	63.370.691,58	2.485.125,25
K9	21	17.814.180,00	16	26.297.122,86	1.696.588,57
K21	42	45.468.948,00	32	67.120.828,00	2.165.188,00
K22	42	24.071.673,60	32	35.534.375,31	1.146.270,17
K23	21	21.013.804,00	16	31.020.377,33	2.001.314,67
K26	14	1.788.318,00	11	2.554.740,00	255.474,00
K36	14	1.852.200,00	11	2.646.000,00	264.600,00

Sumber : Hasil Analisa

**Model Matematis**



**Gambar 2. NWP lintasan kegiatan K1,K8,K9,K7,K3,K4,K2 dan K26,K23,K36,K22,K21,K37,K24.**

Berdasarkan diagram jaringan kerja (NWP) pada Gambar 2. diatas serta waktu normal dan *cost slope* pada Tabel 2. maka dibuatkan model matematis sebagai berikut :

a) Fungsi Tujuan :

$$\begin{aligned}
 \text{Min } Z = & 0 X_1 + 2485125,25 X_8 + 1696588,57 \\
 & X_9 + 149039,8 X_7 + 919619,87 X_3 \\
 & + 678366,81 X_4 + 1510189,95 X_2 + \\
 & 255474 X_{26} + 2001314,57 X_{23} + \\
 & 264600 X_{36} + 1146270,17 X_{22} +
 \end{aligned}$$

b) Fungsi Batasan

$$\text{MPA8} = 0$$

$$X8 + \text{MPA9} = 49$$

$$X9 - \text{MPA9} + \text{MPA7} = 21$$

$$X7 - \text{MPA7} + \text{MPA3} = 14$$

$$X3 - \text{MPA3} + \text{MPA4} = 3$$

$$X4 - \text{MPA4} + \text{MPA2} = 33$$

$$X2 = \text{MPA2} + \text{SPA2} = 28$$

$$\text{SPA2} = T$$

$$X1 = 0$$

$$X8 \leq 8$$

$$X9 \leq 5$$

$$X7 \leq 3$$

$$X3 \leq 8$$

$$X4 \leq 8$$

$$X2 \leq 7$$

$$\text{MPA26} = 14$$

$$X26 + \text{MPA23} = 28$$

$$X23 - \text{MPA23} + \text{MPA36} = 21$$

$$X36 - \text{MPA36} + \text{MPA22} = 14$$

$$X22 - \text{MPA22} + \text{MPA21} = 42$$

$$X21 - \text{MPA21} + \text{MPA37} = 42$$

$$X24 - \text{MPA24} + \text{SPA24} = 7$$

$$\text{SPA24} - \text{SPA2} \leq 0$$

$$X26 \leq 3$$

$$X23 \leq 5$$

$$X36 \leq 3$$

$$X22 \leq 10$$

$$X21 \leq 10$$

$$X37 = 0$$

$$X24 = 0$$

Dengan  $T$  = waktu penyelesaian proyek yang diinginkan.

Perhitungan model matematik dalam penelitian ini menggunakan program linier LINDO. Hasil perhitungan dengan beberapa waktu penyelesaian proyek yang berupa biaya langsung percepatan dan kegiatan yang dipercepat ditampilkan pada tabel 3 berikut.

**Tabel 3. Waktu, Biaya langsung percepatan dan kegiatan yang dipercepat**

Waktu Penyelesaian Proyek (Hari)	Biaya Langsung Percepatan (Rp)	Kegiatan-Kegiatan yang dipercepat	
		Nilai Xi	Keterangan
180	0	Semua variabel = 0	Normal, tidak ada percepatan
173	3.160.587,00	X7 = 3 X4 = 4	Kegiatan K7 dipercepat 3 hari Kegiatan K4 dipercepat 4 hari
166	8.632.914,00	X7 = 3 X3 = 3 X4 = 8	Kegiatan K7 dipercepat 3 hari Kegiatan K3 dipercepat 3 hari Kegiatan K4 dipercepat 8 hari
161	13.231.010,00	X7 = 3 X3 = 8 X4 = 8	Kegiatan K7 dipercepat 3 hari Kegiatan K3 dipercepat 8 hari Kegiatan K4 dipercepat 8 hari
159	16.762.340,00	X7 = 3 X3 = 8 X4 = 8 X2 = 2 X26 = 2	Kegiatan K7 dipercepat 3 hari Kegiatan K3 dipercepat 8 hari Kegiatan K4 dipercepat 8 hari Kegiatan K2 dipercepat 2 hari Kegiatan K26 dipercepat 2 hari
154	26.508.835,00	X7 = 3 X3 = 8 X4 = 8 X2 = 7 X26 = 3 X36 = 3 X22 = 1	Kegiatan K7 dipercepat 3 hari Kegiatan K3 dipercepat 8 hari Kegiatan K4 dipercepat 8 hari Kegiatan K2 dipercepat 7 hari Kegiatan K26 dipercepat 3 hari Kegiatan K36 dipercepat 3 hari Kegiatan K22 dipercepat 1 hari
141	73.194.470,00	X8 = 8 X9 = 5 X7 = 3 X3 = 8 X4 = 8 X2 = 7 X26 = 3 X23 = 4 X36 = 3 X22 = 10	Kegiatan K8 dipercepat 8 hari Kegiatan K9 dipercepat 5 hari Kegiatan K7 dipercepat 3 hari Kegiatan K3 dipercepat 8 hari Kegiatan K4 dipercepat 8 hari Kegiatan K2 dipercepat 7 hari Kegiatan K26 dipercepat 3 hari Kegiatan K23 dipercepat 4 hari Kegiatan K36 dipercepat 3 hari Kegiatan K22 dipercepat 10 hari

Sumber: Hasil Analisa Program Linier Lindo.

Besarnya biaya langsung percepatan dan biaya overhead serta biaya total untuk masing-masing waktu penyelesaian proyek ditampilkan pada tabel 4 berikut.

**Tabel 4. Waktu percepatan dan biaya total**

<b>Waktu (Hari)</b>	<b>Biaya Langsung Normal (Rp)</b>	<b>Biaya Langsung crash (Rp)</b>	<b>Overhead (Rp)</b>	<b>Biaya Total (Rp)</b>	<b>Ket.</b>
180	3.519.361.000,00	0	224.640.000,00	3.744.001.000,00	Normal
177	3.519.361.000,00	447.119,00	220.896.000,00	3.740.704.119,00	
173	3.519.361.000,00	3.160.587,00	215.904.000,00	3.738.425.587,00	
169	3.519.361.000,00	5.874.054,00	210.912.000,00	3.736.147.054,00	
166	3.519.361.000,00	8.632.914,00	207.168.000,00	3.735.161.914,00	
162	3.519.361.000,00	12.311.393,00	202.176.000,00	3.733.848.393,00	
161	3.519.361.000,00	13.231.013,00	200.928.000,00	3.733.520.013,00	Optimum
160	3.519.361.000,00	14.996.677,00	199.680.000,00	3.734.037.677,00	
158	3.519.361.000,00	18.528.005,00	197.184.000,00	3.735.073.005,00	
155	3.519.361.000,00	23.852.375,00	193.440.000,00	3.736.653.375,00	
154	3.519.361.000,00	26.508.835,00	192.192.000,00	3.738.061.835,00	
149	3.519.361.000,00	40.723.129,00	185.952.000,00	3.746.036.129,00	
145	3.519.361.000,00	55.248.711,00	180.960.000,00	3.755.569.711,00	
141	3.519.361.000,00	73.194.470,00	175.968.000,00	3.768.523.470,00	

Sumber: Hasil Analisa

### Pembahasan.

#### 1. Waktu dan Biaya Normal

Waktu penyelesaian proyek dengan durasi normal adalah 180 hari dengan biaya langsung normal yang terdiri dari biaya bahan, biaya alat dan upah pekerjaan sebesar Rp.3.519.361.000,00 dan biaya overhead Rp.1.224.640.000,00 x 180 hari = Rp.224.640.000,00.

#### 2. Waktu dan Biaya percepatan

Dari hasil analisa biaya percepatan seperti yang ditampilkan pada Tabel 4. dan Gambar

4. terlihat jika waktu penyelesaian proyek dipercepat hingga kurang dari 156 hari, biaya oercepatan akan meningkat/naik lebih besar dibanding dengan pengurangan biaya overhead. Sehingga apabila proyek dipercepat dengan waktu kurang dari 156 hari biaya percepatan akan jauh lebih besar dari pada pengurangan biaya tidak langsung (*overhead*).

#### 3. Waktu dan Biaya yang optimal

Berdasarkan hasil analisa biaya percepatan, biaya normal dan biaya overhead maka akan diperoleh waktu dan biaya yang optimal, seperti yang diperlihatkan pada Tabel 4. dan Gambar 5 waktu penyelesaian proyek yang optimal adalah 161 hari dengan biaya total Rp. 3.733.520.010,00. Dengan waktu dan biaya yang optimal tersebut, diperoleh waktu pelaksanaan proyek 19 hari lebih cepat dari waktu normal 180 hari atau 10,56 % dan efisiensi biaya yang diperoleh sebesar Rp. 10.480.990,00 dari biaya normal Rp 3.744.001.000,00 atau 0,28 %.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil optimasi biaya dan waktu, diperoleh waktu penyelesaian proyek yang optimum adalah 161 hari dengan biaya total sebesar Rp 3.733.520.010,00. Waktu pelaksanaan proyek 19 hari lebih cepat dari waktu normal proyek 180 hari atau 10,56% dan diperoleh efisiensi biaya sebesar Rp 10.480.990,00 dari biaya normal Rp 3.744.001.000,00 atau sebesar 0,28%.







Nama : Ruslan  
NIM : 192710022  
Mata Kuliah : Rekayasa Sistem dan Manajemen  
Dosen : Dr.Ir.H.Achmad Syarifudin,M.Sc

---

### UJIAN TENGAH SEMESTER

Soal :

1. Buatlah Rumus Empiris dari Sumber Daya Air dan jelaskan variable terkait dengan kajian saudara tersebut.

Penyelesaian :

### Pengukuran Debit Sungai

#### **METODE APUNG**

Pengukuran debit dengan metode ini menggunakan alat bantu suatu benda ringan(dapat terapung) untuk mengetahui kecepatan air yang akan diukur dalam suatu aliran terbuka. Pengukuran dengan metode ini biasanya dilakukan pada sumber air yang membentuk aliran seragam (uniform) dan tidak memungkinkan untuk mengukur melalui metode ambang peluapan karena lebar dan tidak bisa dibendung, pengukuran dilakukan dengan cara menghanyutkan benda apung dari suatu titik tertentu kemudian dibiarkan mengalir mengikuti kecepatan aliran yang ada sampai pada titik tertentu sehingga diketahui waktu yang diperlukan benda apung tersebut untuk mencapai jarak yang diukur

- Kemudian hitung debit air yang mengalir dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Qrata (m}^3/\text{dt)} = V \text{ (m/dt)} \times A$$

atau

$$\text{Qrata (l/dt)} = V \text{ (m/dt)} \times A \text{ (m}^2\text{)} \times 1000$$

*Dimana*

$Q$  = Debit air ( $m^3/detik$ )

$V$  = Kecepatan Rata - Rata Aliran ( $m/dt$ )

$A$  = Luas Penampang Rata - Rata ( $m$ )

**b. Metoda Benda Apung**

Peralatan yang dibutuhkan:

- pita ukur
- *stop watch*
- daun atau benda apung lainnya

Cara pengukuran:

- Pilih lokasi yang baik pada beban air dengan lebar, kedalaman, kemiringan dan kecepatannya yang dianggap tetap, sepanjang 2 meter.
- Perhatikan agar tidak ada rintangan, halangan atau gangguan lainnya sampai tempat pengamatan di hilir.
- Jatuhkan daun ditengah sungai, pada bagian hulu bersamaan dengan itu hidupkan *stop watch*.
- Hentikan *stop watch* manakala daun melewati titik pengamatan di hilir, jarak antara bagian hulu dan bagian hilir juga harus diukur (katakan  $Lm$ ).
- Ukur kedalaman air pada beberapa titik penampang aliran, juga lebar penampang itu.

Kecepatan aliran rata-rata di seluruh penampang adalah 2/3 dari harga ini, jadi:

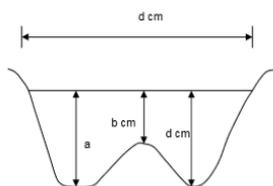
$$V = \frac{L}{t}$$

Tentukan kedalaman air rata-rata  $h = \frac{a+b+c}{3}$  ( $m$ )

luas penampang :  $A = d \times h$  ( $m^2$ )

Debit ( $Q$ ) :  $V \times A$  ( $m^3/d$ )

**Atau =  $1000 \times V \times A$  ( $l/d$ )**



**Gambar 6 Sketsa Penampang Melintang Aliran**

Perhitungan debit:

Jika daun menempuh jarak  $L$  dalam waktu  $t$  detik, kecepatan muka air adalah:

$$V = \frac{L}{t}$$

Nama : **SASTRA SUGANDA**  
NIM : **192710013**  
Mata Kuliah : Rekayasa Sistem Dan Manajemen / 20192-MTS271203-0  
Dosen : Dr. Ir. Achmad Syarifudin, M.Eng, PU-SDA  
Tugas : Tugas UTS

Pertanyaan : *Buatlah Rumusan empiris dari beberapa kajian SDA, Jalan dan transportasi, Geoteknik, Struktur dan bahan. dan jelaskan variabel terkait dengan kajian saudara tersebut*

---

## **PERHITUNGAN LENTUR PADA BALOK PERSEGI**

### **DASAR TEORI**

Balok merupakan elemen struktur yang menanggung beban layan dalam arah transversal yang menyebabkan terjadinya momen lentur dan gaya geser di sepanjang bentangnya.

Untuk perhitungan perencanaan bangunan gedung dipakai beberapa metode, antara lain:

#### **Metode Elastis**

Apabila akibat beban kerja pada keadaan elastic, tegangan tekan beton maksimum pada serat tepi yang tertekan mencapai tegangan tekan beton dan tegangan tarik baja yang diizinkan berbanding lurus. Berdasarkan SNI 2847:2013 menetapkan regangan tekan beton maksimum ketika hancur adalah 0,003.

#### **Metode Ultimate**

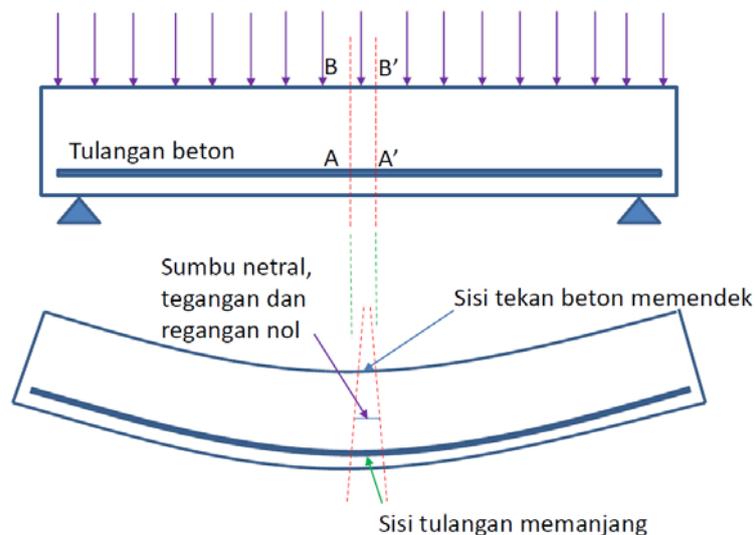
Pada saat mendekati beban batas, hubungan tegangan regangan beton tidak berbentuk garis lurus, melainkan berbentuk kurva. Dengan dicapainya kekuatan, terjadi redistribusi beban yang dipikul oleh beton dan tulangan, dengan tulangan menahan bagian yang terbesar.

Beban batas pada saat elemen beton bertulang tersebut mengalami keruntuhan terdiri dari beban yang dipikul tulangan sampai mencapai tegangan lelehnya ditambah dengan beban yang dipikul beton ketika regangan telah mencapai kekuatan batas sebesar 0,85  $f_c'$ .

Perhitungan kekuatan lentur penampang beton bertulang menggunakan asumsi- asumsi dasar sebagai berikut:

- Bentuk penampang melintang tetap berupa bidang datar, baik sebelum maupun sesudah terjadi lenturan. Hal ini berarti berlakunya hukum Bernoulli dimana besarnya tegangan yang terjadi di setiap titik pada penampang balok sebanding dengan jarak titik tinjau terhadap garis netral, dengan anggapan adanya kesatuan antara beton dengan baja tulangan secara monolit dan tidak terjadi slip.
- Diagram hubungan tegangan-regangan baja tulangan telah diketahui secara pasti melalui hasil uji tarik baja yang valid. Pada umumnya perilaku baja tulangan yang diperhitungkan hanya sampai saat dicapainya tegangan leleh, hal ini dikarenakan setelah fase leleh baja akan mengalami strain hardening, dimana peningkatan tegangan disertai dengan terjadinya deformasi yang sangat besar.

- Perilaku material beton yang sesungguhnya saat menerima tegangan tekan dapat diketahui secara nyata baik dalam hal besaran maupun distribusinya, yang dapat digambarkan dalam bentuk diagram tegangan-regangan beton dengan mengacu hasil-hasil penelitian yang telah diakui secara luas.
- Beton hanya efektif menahan tegangan tekan, sehingga kekuatan beton tidak diperhitungkan pada bagian penampang yang menerima tegangan tarik
- Regangan pada beton berbanding lurus terhadap jaraknya ke sumbu netral penampang
- Modulus Elastisitas baja,  $E_s = 200.000 \text{ MPa}$ , dan tegangan yang timbul pada tulangan baja dalam daerah elastis sama dengan nilai regangan dikalikan dengan  $E_s$  ( $s = e \cdot E_s$ )
- Penampang datar akan tetap datar setelah terjadi lentur
- Kuat tarik dari beton diabaikan
- Kada kondisi keruntuhan regangan maksimum yang terjadi pada serat tekan beton terluar, besarnya adalah sama dengan  $\epsilon_{cu} = 0,003$
- Untuk perhitungan kuat rencana, bentuk dari distribusi tegangan tekan beton diasumsikan berupa persegi empat, sesuai dengan asumsi dalam SNI 2847:2013 pasal 10.2



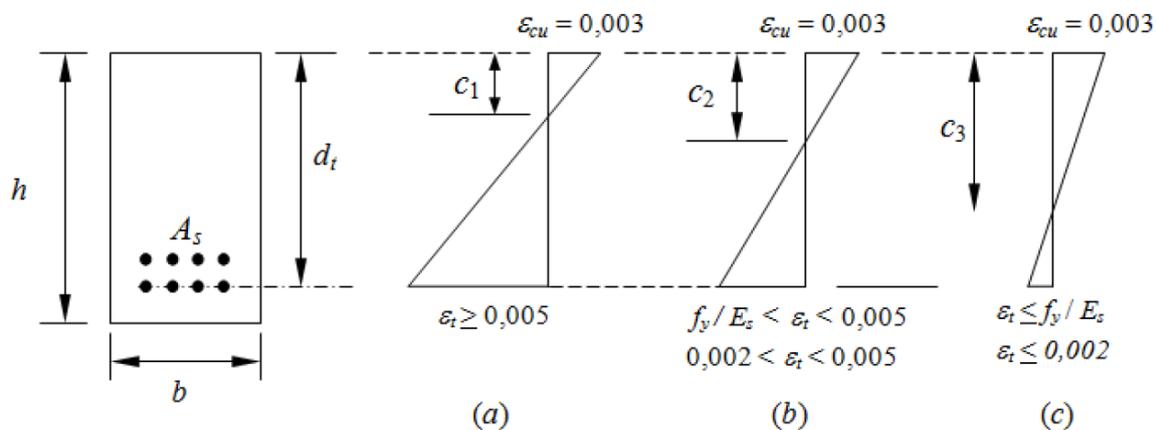
Ketentuan mengenai perencanaan beton bertulang biasa maupun beton prategang dalam SNI 2847:2013 pasal 10.3, didasarkan pada konsep regangan yang terjadi pada penampang beton dan tulangan baja.

Secara umum ada 3 (tiga) macam jenis penampang yang dapat didefinisikan :

1. Kondisi regangan seimbang (***balanced strain condition***)
2. Penampang dominasi tekan (***compression controlled section***)
3. Penampang dominan tarik (***tension controlled section***)

Penampang lain yang berada di antara penampang dominan tekan dan dominan tarik, dinamakan berada pada daerah transisi. Di samping itu ditambahkan pula bahwa regangan tarik,  $e_t$ , pada kuat nominal di daerah transisi, tidak boleh kurang dari 0,004 untuk setiap komponen struktur lentur tanpa beban aksial, ataupun bila ada beban aksial tidak melebihi  $0,10 \cdot f/c \cdot A_g$ . Dengan  $A_g$  adalah luas gross penampang beton.

- **Kondisi regangan seimbang (*balanced strain condition*)**, terjadi pada suatu penampang ketika tulangan baja tarik mencapai regangan luluh,  $\epsilon_y$ , sedangkan beton yang tertekan mencapai regangan ultimitnya sebesar 0,003. Penampang demikian dinamakan sebagai penampang seimbang
- **Penampang dominasi tekan (*compression controlled section*)**, terjadi apabila regangan tulangan tarik terluar sama atau kurang dari batasan regangan yang diijinkan, sedangkan beton mencapai regangan ultimit sebesar 0,003. Untuk tulangan baja dengan  $f_y = 400$  MPa, maka batasan regangan tekan tersebut adalah sama dengan 0,002. Kasus ini pada umumnya terjadi pada komponen struktur kolom yang menerima gaya aksial dan momen lentur
- **Penampang dominan tarik (*tension controlled section*)**, terjadi ketika regangan baja mencapai 0,005 atau lebih, yang terjadi ketika beton mencapai regangan ultimitnya sebesar 0,003



(a) Penampang Dominan Tarik; (b) Penampang Daerah Transisi; (c) Penampang Dominan Tekan

### Distribusi Tegangan Tekan Ekuivalen

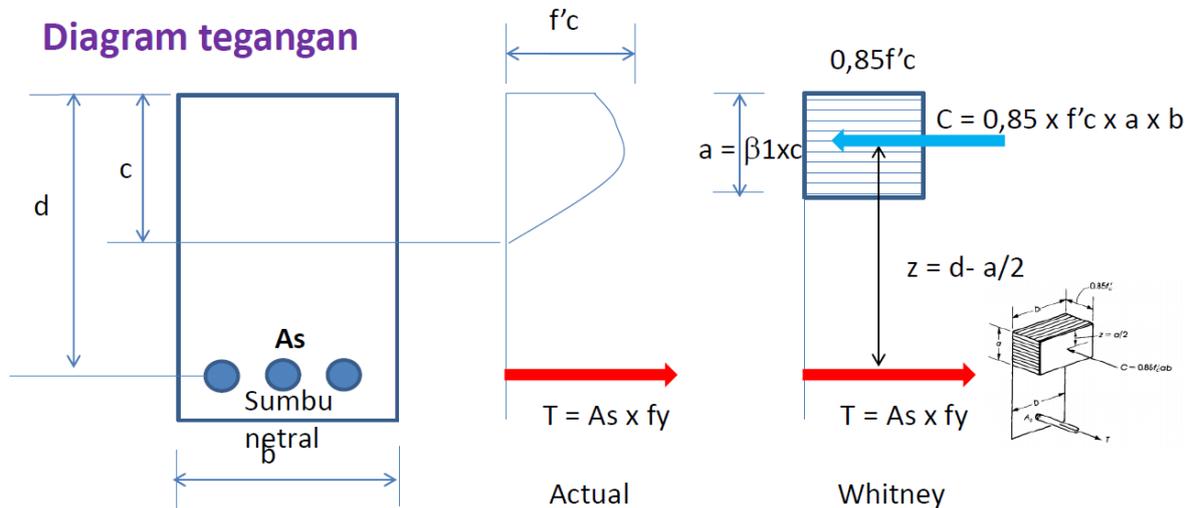
- Hubungan antara tegangan dan regangan tekan beton dapat dihitung berdasarkan kurva pengujian tegangan-regangan, atau dapat diasumsikan berbentuk persegi empat, trapesium, parabola atau bentuk lain yang dapat merepresentasikan kuat lentur dari penampang.
- Guna penyederhanaan dalam analisis maupun disain penampang beton, maka dalam SNI 2847:2013 pasal 10.2.7, diijinkan untuk menggunakan distribusi blok tegangan ekuivalen berbentuk **empat persegi panjang** untuk perhitungan kuat lentur nominal.
- Model blok tegangan tersebut sering juga dikenal sebagai **Blok Tegangan Whitney**, yang pertama kali diperkenalkan dalam jurnal ACI di tahun 1937.

Blok tegangan tersebut didefinisikan sebagai berikut :

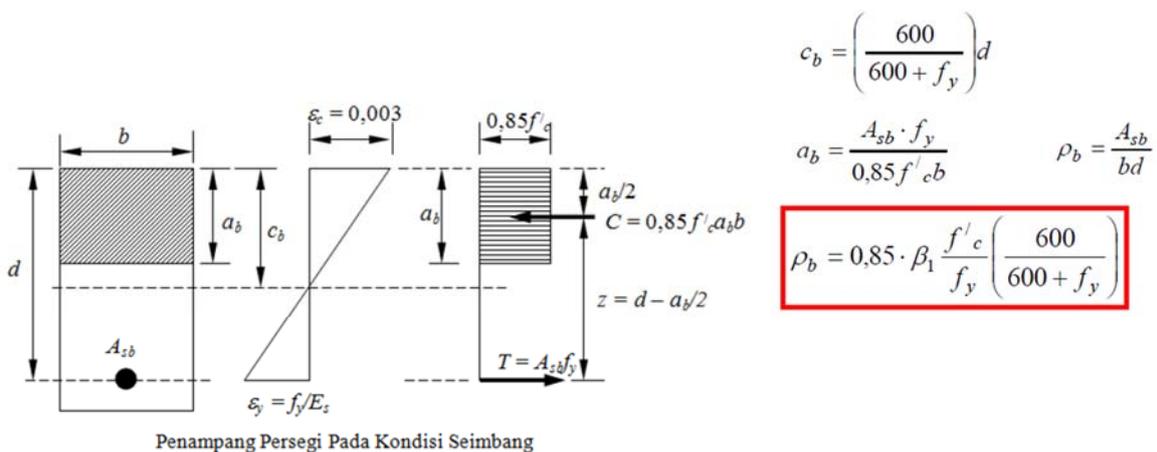
- tegangan tekan merata sebesar  **$0,85 \cdot f_c$**  diasumsikan terdistribusi merata pada daerah tekan ekuivalen yang dibatasi oleh tepi penampang dan suatu garis lurus yang sejajar sumbu netral sejarak  **$a = \beta_1 \cdot c$**  dari serat beton yang mengalami regangan tekan maksimum
- Jarak  **$c$**  dari serat dengan regangan tekan maksimum ke sumbu netral harus diukur tegak lurus sumbu tersebut
- Faktor  **$\beta_1$**  dapat dihitung sebagai berikut :
  - untuk kuat tekan beton,  **$f_c < 28$  Mpa**  $\beta_1 = 0,85$

-untuk  $28 \text{ MPa} < f_c < 56 \text{ MPa}$

-Untuk  $f_c$  lebih dari 56 Mpa  $\beta_1 = 0,65$



### 1. PENAMPANG PERSEGI BERTULANG TUNGGAL (KONDISI BALANCED)



$$C = T$$

$$0,85 f'_c a_b b = A_{sb} f_y$$

Parameter  $\rho$  disebut sebagai rasio tulangan tarik yang besarnya sama dengan Luas Tulangan dibagi luas penampang beton efektif

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

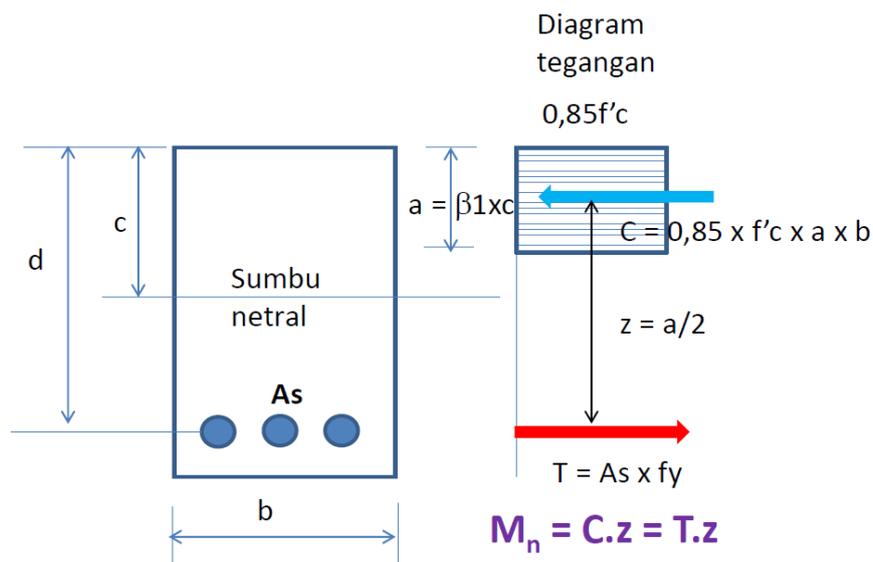
#### 1. Keadaan regangan seimbang

Suatu keadaan yang sangat menentukan dalam analisis dan perencanaan beton bertulang dengan metode kekuatan dan kemampuan layan adalah keadaan regangan berimbang (balance). Dalam kondisi berimbang serat tekan ekstrim pada beton dan serat tarik pada baja Tulangan secara bersamaan mencapai regangan maksimum ( $\epsilon_{cu}$  pada beton dan  $\epsilon_y$  pada baja tulangan).

2. Balok bertulangan lemah (Under-reinforced)

Dalam kondisi penampang terpasang baja tulangan kurang dari rasio tulangan maksimum (0,75 kali rasio tulangan dalam keadaan seimbang), baja tulangan akan lebih dulu mencapai tegangan leleh  $f_y$  sebelum beton mencapai kekuatannya maksimumnya. Gaya tarik baja tulangan tetap sebesar  $A_s \cdot f_y$  meskipun besaran beban terus bertambah. Bertambahnya beban yang bekerja menyebabkan terjadinya perpanjangan (deformasi) elastis yang semakin besar hingga mengakibatkan retak akibat lentur pada serat beton yang terkena tarik dan bertambahnya regangan secara non-linear pada beton yang menerima gaya tekan hingga berakibat terjadinya keruntuhan tarik

**KAPASITAS MOMEN NOMINAL PENAMPANG BALOK**



Dalam desain balok beton harus dipenuhi  $M_u \leq \phi M_n$

Momen nominal dari suatu balok persegi bertulangan tunggal dihitung dengan mengalikan nilai  $C$  atau  $T$  pada Gambar dengan jarak antara kedua gaya

$$M_n = C \cdot z = T \cdot z$$

$$M_n = 0,85 f'_c a \cdot b \left( d - \frac{a}{2} \right) = A_s \cdot f_y \left( d - \frac{a}{2} \right)$$

$$\rho = A_s / bd$$

$$a = A_s \cdot f_y / (0,85 f'_c \cdot b)$$

$$\phi M_n = \phi A_s \cdot f_y \left( d - \frac{A_s \cdot f_y}{1,7 f'_c \cdot b} \right) = \phi \rho f_y b d^2 \left( 1 - \frac{\rho \cdot f_y}{1,7 \cdot f'_c} \right)$$

$$\phi M_n = R_u b d^2$$

dengan  $R_u = \phi \rho f_y \left( 1 - \frac{\rho \cdot f_y}{1,7 \cdot f'_c} \right)$

Saat  $\rho$  maks, maka  $R_u$  akan maks, nilai  $R_u$  maks dapat ditabelkan

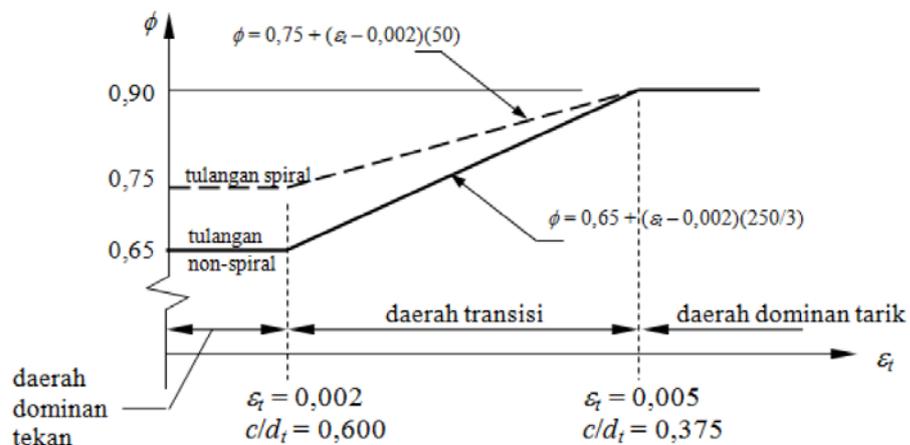
## FAKTOR REDUKSI KEKUATAN

Kuat nominal dari suatu komponen struktur (baik yang memikul lentur, beban aksial, geser maupun puntir), yang dihitung berdasarkan kaidah –kaidah yang berlaku, harus dikalikan dengan suatu faktor reduksi yang besarnya kurang dari satu.

Dalam SNI 2847:2013, pasal 9.3 digunakan beberapa nilai faktor reduksi kekuatan,  $\phi$ , sebagai berikut :

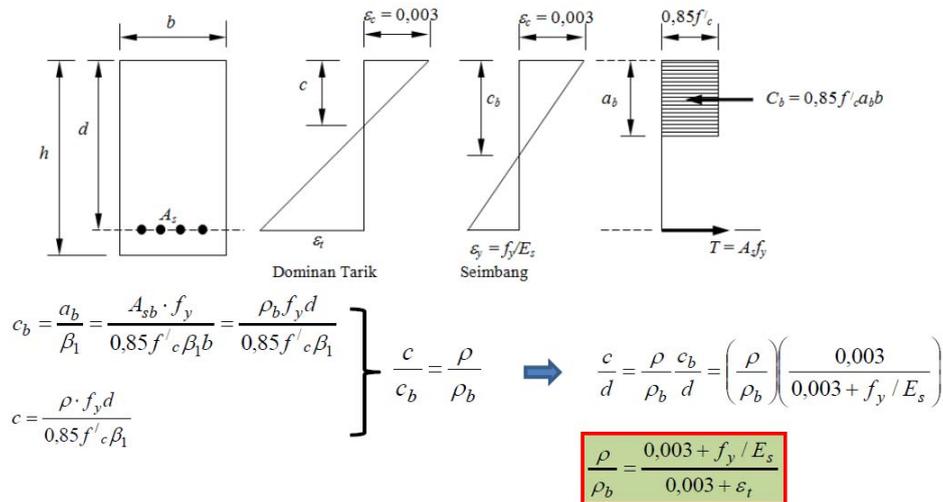
- Untuk penampang dominan Tarik  $\phi = 0,90$
- Untuk penampang dominan tekan
  - dengan tulangan spiral  $\phi = 0,75$
  - tulangan non-spiral  $\phi = 0,65$
- Untuk geser dan puntir  $\phi = 0,75$
- Untuk tumpu pada beton  $\phi = 0,65$

### Faktor Reduksi Kekuatan



**Untuk komponen struktur lentur beton bertulang, nilai  $\epsilon_t$  harus sama atau lebih besar daripada 0,004 !**

- SNI 2847:2013 pasal 10.3.5 mensyaratkan bahwa nilai  $\epsilon_t$  pada kondisi kuat lentur nominal harus lebih besar atau sama dengan 0,004.



- Dalam hal desain balok atau komponen struktur lentur lainnya, batas maksimum rasio tulangan dapat diambil dengan menggunakan nilai  $\epsilon_t = 0,005$ , sehingga :

$$\rho_{maks} = \left( \frac{0,003 + f_y / E_s}{0,008} \right) \rho_b$$

Jika tulangan baja mempunyai  $f_y = 400$  MPa dan  $E_s = 200.000$  MPa, maka  $\rho_{maks} = 0,625\rho_b$

**Tabel** Nilai  $\rho$  dan  $R_u (=M_u/bd^2)$  Untuk Penampang Dominan Tarik,  $\epsilon_t = 0,005$  dan  $\phi = 0,90$

$f'_c$ (MPa)	$f_y$ (MPa)	$\beta_1$	$\rho_b$	$\rho_{maks}$	$R_u$ (MPa)
20	400	0,850	0,0217	0,01355	4,100
25	400	0,850	0,0271	0,01693	5,125
30	400	0,836	0,0320	0,01998	6,065
35	400	0,800	0,0357	0,02231	6,828
40	400	0,764	0,0390	0,02436	7,513

- Apabila momen terfaktor yang bekerja pada balok cukup kecil, sehingga luas tulangan baja yang dibutuhkan juga sedikit, maka dalam peraturan (SNI 2847:2013 pasal 10.5.1) disyaratkan perlunya memberikan tulangan minimum, yang besarnya dapat dihitung sebagai berikut :

$$A_{s \min} = \frac{\sqrt{f'_c}}{4 f_y} b_w \cdot d \geq \frac{1,4}{f_y} b_w \cdot d$$

- Atau dapat dinyatakan dalam bentuk rasio tulangan :

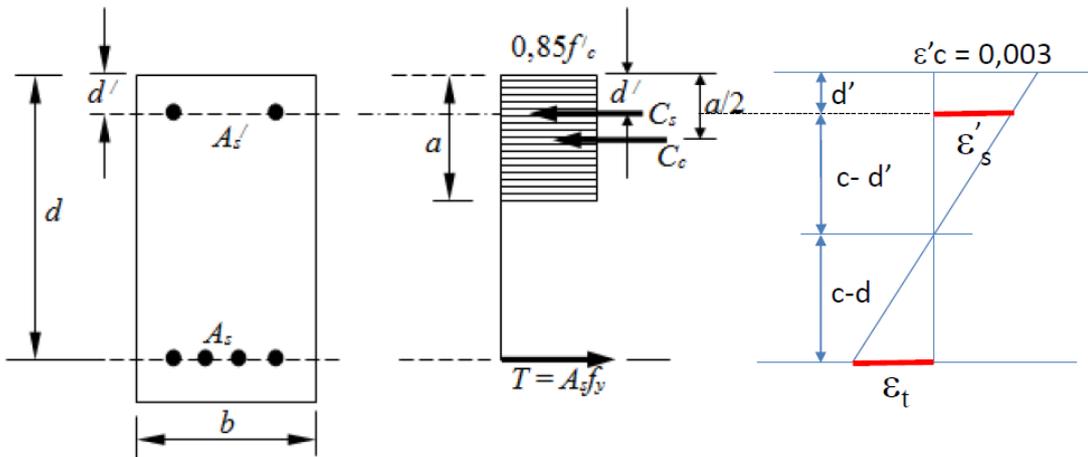
$$\rho_{\min} = \frac{\sqrt{f'_c}}{4f_y} \geq \frac{1,4}{f_y}$$

### Syarat jarak tulangan :

- Tulangan baja pada suatu penampang balok beton harus diletakkan sedemikian rupa sehingga **jarak antar poros tulangan dalam satu lapis tidak kurang dari ukuran diameter tulangan, (>db), namun juga tidak kurang dari 25 mm.**
- Jika kebutuhan tulangan cukup banyak dan harus disusun lebih dari satu lapis, maka **jarak antar lapis tulangan dalam arah vertikal tidak boleh kurang dari 25 mm.** Persyaratan jarak antar tulangan ini tercantum pada ACI 318M-11 pasal 7.6.
- Selain itu lebar penampang balok juga harus memperhatikan tentang **ketentuan tebal selimut beton** yang disyaratkan. Dalam pasal 7.7 ACI 318M-11 disebutkan bahwa untuk penampang balok dan kolom dianjurkan mengambil selimut beton setebal **40 mm**, sedangkan untuk pelat yang tidak berhubungan langsung dengan tanah dapat diambil selimut beton setebal **20 mm**.

## 2. ANALISIS DAN DESAIN BALOK BERTULANGAN RANGKAP

- Terkadang suatu penampang balok beton bertulang didesain memiliki **tulangan tarik** dan **tulangan tekan**.
- Balok demikian dinamakan sebagai **balok bertulangan rangkap**
- Penggunaan tulangan tekan sering dijumpai pada daerah momen negatif dari suatu balok menerus atau di tengah bentang dari suatu balok yang cukup panjang dan memikul beban yang berat serta persyaratan kontrol lendutan cukup ketat.
- Atau juga sering dijumpai pada kasus di mana tinggi balok sangat dibatasi untuk mengakomodasi kebutuhan arsitektural.

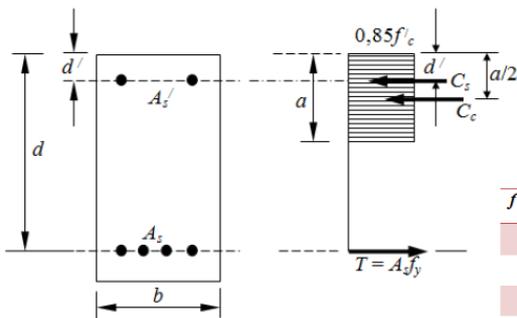


- Analisis terhadap penampang balok bertulangan rangkap didasarkan pada **kondisi tulangan tekan**
- Ada dua macam kasus yang akan dijumpai, yaitu apakah **tulangan tekan sudah luluh** atau **belum luluh**

**Syarat tulangan tekan sudah luluh :**

$$\rho - \rho' \geq 0,85 \beta_1 \left( \frac{f'_c}{f_y} \right) \left( \frac{d'}{d} \right) \left( \frac{600}{600 - f_y} \right)$$

$K$

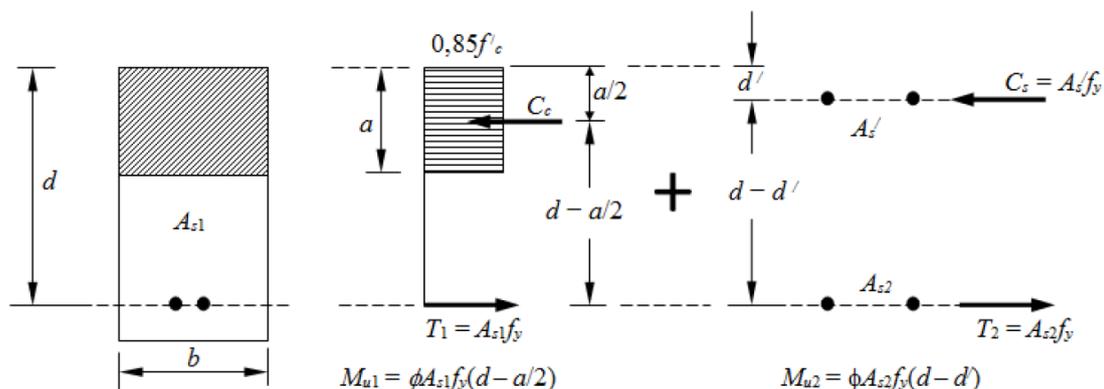


Tabel Nilai K Untuk Pemeriksaan Keluluhan Tulangan Tekan

$f'_c$ (MPa)	$f_y$ (MPa)	$\beta_1$	$K$	$K$ (dengan $d' = 50$ mm)
20	400	0,850	0,1084( $d/d$ )	5,4188/ $d$
25	400	0,850	0,1355( $d/d$ )	6,7734/ $d$
30	400	0,836	0,1599( $d/d$ )	7,9943/ $d$
35	400	0,800	0,1785( $d/d$ )	8,9250/ $d$
40	400	0,764	0,1948( $d/d$ )	9,7410/ $d$

Tul. tekan luluh jika  $\epsilon'_s > \epsilon_y$

**(tulangan tekan sudah luluh)**



$$A_{s1} = A_s - A_s'$$

$$a = \frac{A_{s1} \cdot f_y}{0,85 f'_c \cdot b}$$

**(tulangan tekan sudah luluh)**

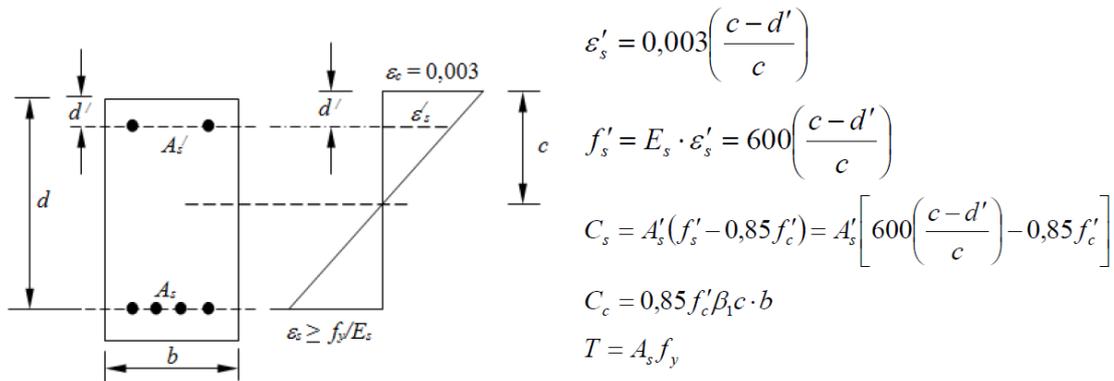
$$\phi M_n = M_{u1} + M_{u2} = \phi \left[ (A_s - A_s') f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) + A_s' f_y (d - d') \right]$$

**Syarat batasan rasio tulangan :**

$$\rho - \rho' < \rho_{maks} = \rho_b \left( \frac{0,003 + f_y/E_s}{0,008} \right)$$

**(tulangan tekan belum luluh)**

$$\rho - \rho' < 0,85 \beta_1 \left( \frac{f_c'}{f_y} \right) \left( \frac{d'}{d} \right) \left( \frac{600}{600 - f_y} \right) \quad \rightarrow \quad \text{tulangan tekan belum luluh}$$



**(tulangan tekan belum luluh)**

$$T = C_s + C_c$$

$$A_s f_y = 0,85 f_c' \beta_1 c \cdot b + A_s' \left[ 600 \left( \frac{c - d'}{c} \right) - 0,85 f_c' \right]$$

$$(0,85 f_c' \beta_1 b) c^2 + [(600 A_s') - (0,85 f_c' A_s') - A_s f_y] c - 600 A_s' d' = 0$$

Nilai c diperoleh dari :

$$c = \frac{-K_2 \pm \sqrt{K_2^2 - 4K_1 K_3}}{2K_1} \quad \rightarrow \quad a = \beta_1 c$$

$$K_1 = 0,85 f_c' \beta_1 b$$

$$K_2 = A_s' (600 - 0,85 f_c') - A_s f_y$$

$$K_3 = -600 A_s' d'$$

$$\phi M_n = \phi \left[ C_c \left( d - \frac{a}{2} \right) + C_s (d - d') \right]$$

**(tulangan tekan belum luluh)**

Batasan untuk rasio tulangan ditentukan oleh :

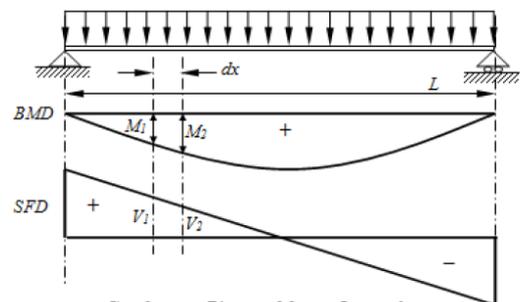
$$\left( \rho - \rho' \frac{f'_s}{f_y} \right) < \rho_{maks}$$

Dengan  $\rho_{maks}$  adalah rasio tulangan maksimum untuk penampang bertulangan tunggal.

$$\rho_{maks} = \left( \frac{0,003 + f_y / E_s}{0,008} \right) \rho_b$$

## Teori Dasar Geser

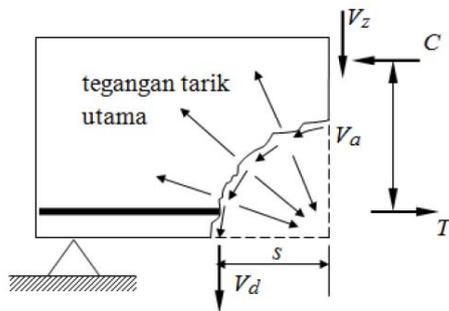
- Sebuah balok diberi beban seperti pada Gambar
- Akan muncul momen lentur dan gaya geser secara bersamaan
- Untuk dapat memikul beban tersebut dengan aman, maka balok harus didesain terhadap kedua macam gaya tersebut (yaitu momen lentur dan geser)
- Desain terhadap lentur dilakukan terlebih dahulu untuk menentukan ukuran penampang balok serta kebutuhan tulangan utama atau tulangan lenturnya
- Selanjutnya balok harus didesain untuk mencukupi memikul gaya geser yang terjadi
- Apabila tulangan geser tidak dipasang, maka kegagalan geser akan terjadi
- Balok harus didesain sedemikian rupa sehingga kegagalan akibat geser tidak terjadi sebelum kegagalan lentur terjadi.



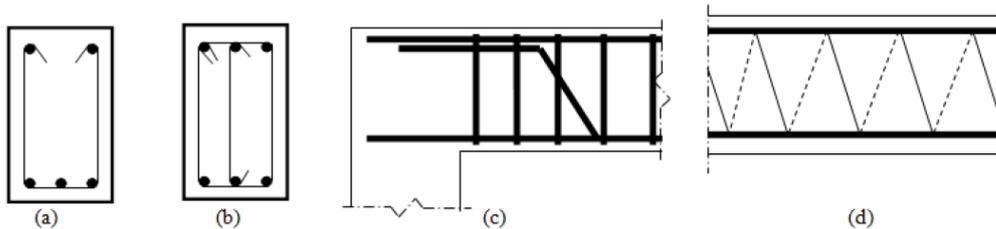
Gambar Diagram Momen Lentur dan Gaya Lintang Pada Balok Tertumpu



## Mekanisme Tahanan Geser Beton Bertulang



1. Tahanan geser beton yang didasarkan pada penampang yang masih utuh, belum retak,  $V_c$
2. Transfer geser antarmuka,  $V_a$ , akibat lekatan agregat sepanjang bidang retak,  $V_a$
3. Tahanan yang diberikan oleh tulangan memanjang,  $V_d$



(a) Sengkang Terbuka Dengan Dua Kaki, (b) Sengkang Tertutup Dengan Tiga Kaki,  
(c) Gabungan Sengkang Vertikal dan Tulangan Miring, (d) Spiral

Kuat geser nominal,  $V_n$  dari balok beton bertulang dengan tulangan geser, sebagian disumbangkan oleh kuat geser beton,  $V_c$ , dan sebagian disumbangkan oleh kuat geser tulangan geser,  $V_s$ .

$$V_n = V_c + V_s$$

Gaya geser  $V_u$  yang dihasilkan oleh beban terfaktor harus kurang atau sama dengan kuat geser nominal dikalikan dengan faktor reduksi  $\phi$ , atau :

$$V_u < \phi V_n = \phi(V_c + V_s)$$

Dengan besarnya faktor reduksi,  $\phi$ , untuk geser adalah sebesar **0,75**.

Nilai kuat geser yang disumbangkan oleh beton dapat diperhitungkan sebagai berikut :

$$1. V_c = 0,17\lambda\sqrt{f'_c}b_wd$$

Jika pengaruh gaya aksial diperhitungkan, maka :

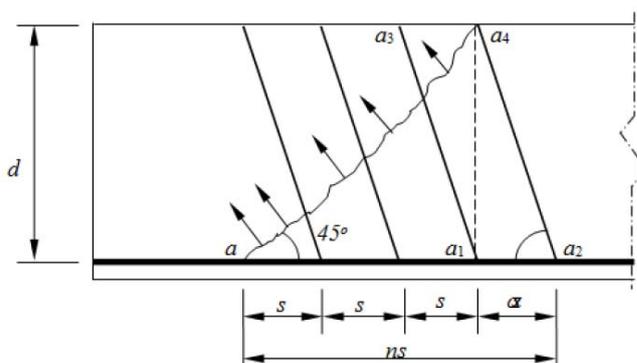
$$2. \text{untuk gaya aksial tekan, } V_c = \left( 0,16\lambda\sqrt{f'_c} + 17\rho_w \frac{V_u d}{M_m} \right) b_w d \leq 0,29\lambda\sqrt{f'_c}b_w d \sqrt{1 + \frac{0,29N_u}{A_g}}$$

$$\text{dengan } M_m = M_u - N_u \left( \frac{4h - d}{8} \right); \text{ sedangkan } \rho_w = \frac{A_s}{b_w \cdot d}$$

Nilai  $V_u d / M_u$  boleh lebih besar dari 1,0. Dengan  $A_g$  adalah luas penampang gross balok.

Suku  $N_u / A_g$  dinyatakan dalam satuan MPa

$$3. \text{ untuk gaya aksial tarik, } V_c = 0,17 \left( 1 + \frac{0,29N_u}{A_g} \right) \lambda \sqrt{f'_c} b_w d$$



Perhitungan Nilai  $V_c$  Dengan Analogi Rangka Batang

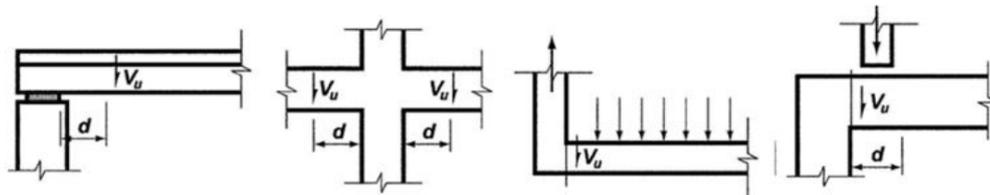
$$V_s = \frac{A_v f_{yt} d}{s} (\sin \alpha + \cos \alpha)$$

Untuk sengkang vertikal, maka nilai  $\alpha = 90^\circ$ , sehingga :

$$V_s = \frac{A_v f_{yt} d}{s} \quad \text{atau} \quad s = \frac{A_v f_{yt} d}{V_s}$$

## Penampang Kritis Untuk Geser

ACI 318M-11 pasal 11.1.3.1 mengizinkan untuk mengambil penampang kritis guna perhitungan kuat geser nominal **pada jarak  $d$  dari muka tumpuan**



## Tulangan Geser Minimum

Suatu komponen struktur lentur (prategang atau non prategang), harus disediakan tulangan geser minimum,  $A_{vmin}$ , apabila  $V_u$  melebihi  $0,5\phi V_c$ ,

$$A_{vmin} = 0,062\sqrt{f'_c} \left( \frac{b_w s}{f_{yt}} \right) \geq \frac{0,35b_w s}{f_{yt}}$$

## Jarak Maksimum Tulangan Geser

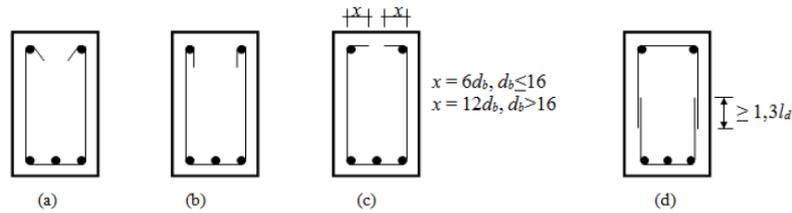
1. Jika  $V_s \leq 0,33\sqrt{f'_c} b_w d$   
 $s_{maks} < d/2$  atau 600 mm
2. Jika  $0,33\sqrt{f'_c} b_w d < V_s \leq 0,66\sqrt{f'_c} b_w d$   
 $s_{maks} < d/4$  atau 300 mm
3. Jika  $V_s > 0,66\sqrt{f'_c} b_w d$ ,

maka ukuran penampang **harus diperbesar**

Selain itu jarak tulangan maksimum juga harus diperiksa terhadap syarat luas tulangan geser minimum

$$s_{maks} = \frac{A_v f_{yt}}{0,35b_w} \geq \frac{A_v f_{yt}}{0,062\sqrt{f'_c} b_w}$$

## Pengangkuruan Senggang

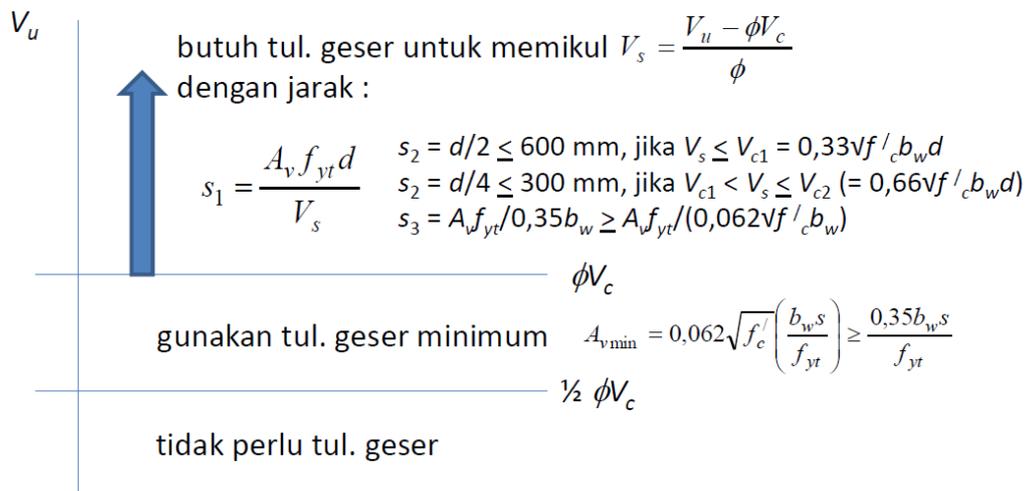


(a) Kait 135°, (b) Kait 180°, (c) Kait 90°, (d) Senggang U Ganda

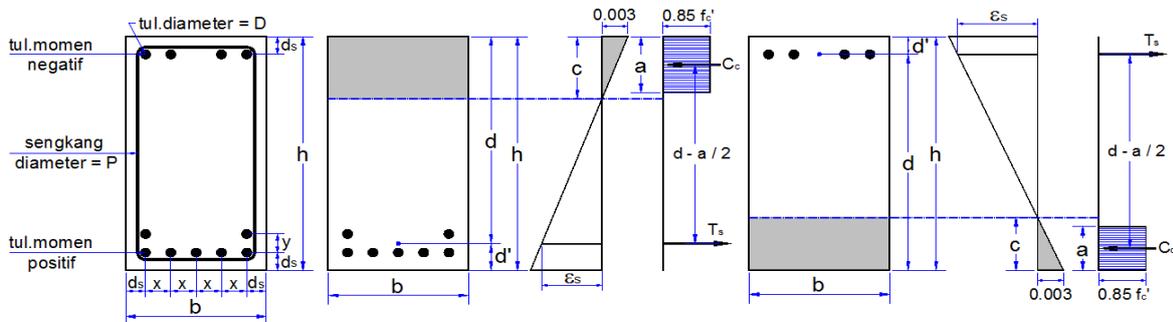
## Senggang Pertama

ACI 318M-11 pada pasal 11.1.3.1 menyebutkan bahwa tulangan geser harus disediakan pada daerah antara muka kolom hingga sejarak  $d$ , pada daerah ini balok didesain terhadap gaya geser  $V_u$  yang besarnya sama dengan gaya geser yang terjadi pada lokasi penampang kritis. Sedangkan sengkang pertama pada umumnya dipasang sejarak  $s/2$  dari muka kolom.

### • Desain Balok Terhadap Geser



## PERHITUNGAN LENTUR PADA BALOK PERSEGI



### A. DATA BALOK

BAHAN STRUKTUR			
Kuat tekan beton,	$f'_c =$	29	MPa
Tegangan leleh baja (deform) untuk tulangan lentur,	$f_y =$	400	MPa
Tegangan leleh baja (polos) untuk tulangan geser,	$f_y =$	240	MPa
DIMENSI BALOK			
Lebar balok	$b =$	400	mm
Tinggi balok	$h =$	650	mm
Diameter tulangan (deform) yang digunakan,	$D =$	22	mm
Diameter sengkang (polos) yang digunakan,	$P =$	13	mm
Tebal bersih selimut beton,	$t_s =$	70	mm
MOMEN DAN GAYA GESER RENCANA			
Momen rencana positif akibat beban terfaktor,	$M_u^+ =$	63,170	kNm
Momen rencana negatif akibat beban terfaktor,	$M_u^- =$	141,334	kNm
Gaya geser rencana akibat beban terfaktor,	$V_u =$	170,554	kN

### B. PERHITUNGAN TULANGAN

Untuk :  $f'_c \leq 30$  MPa,  $\beta_1 = 0,85$

Untuk :  $f'_c > 30$  MPa,  $\beta_1 = 0,85 - 0,05 * (f'_c - 30) / 7 = -$

Faktor bentuk distribusi tegangan beton,  $\beta_1 = 0,85$

Rasio tulangan pada kondisi *balance*,

$$\rho_b = \beta_1 * 0,85 * f'_c / f_y * 600 / (600 + f_y) = 0,0314$$

Faktor tahanan momen maksimum,

$$R_{max} = 0,75 * \rho_b * f_y * [1 - \frac{1}{2} * 0,75 * \rho_b * f_y / (0,85 * f'_c)] = 7,6254$$

Faktor reduksi kekuatan lentur,

$$\phi = 0,80$$

Jarak tulangan terhadap sisi luar beton,

$$d_s = t_s + \emptyset + D/2 = 94,00 \text{ mm}$$

Jumlah tulangan dlm satu baris,  $n_s = (b - 2 * d_s) / (25 + D) = 4,51$   
 Digunakan jumlah tulangan dalam satu baris,  $n_s = 4$  bh

Jarak horisontal pusat ke pusat antara tulangan,  $x = (b - n_s * D - 2 * d_s) / (n_s - 1) = 41,33$  mm  
 Jarak vertikal pusat ke pusat antara tulangan,  $y = D + 25 = 47,00$  mm

### 1. TULANGAN MOMEN POSITIF

Momen positif nominal rencana,  $M_n = M_u^+ / \phi = 78,962$  kNm  
 Diperkirakan jarak pusat tulangan lentur ke sisi beton,  $d' = 70$  mm  
 Tinggi efektif balok,  $d = h - d' = 580,00$  mm  
 Faktor tahanan momen,  $R_n = M_n * 10^6 / (b * d^2) = 0,5868$   
 $R_n < R_{max} \rightarrow$  (OK)

Rasio tulangan yang diperlukan :

$\rho = 0.85 * f_c' / f_y * [1 - \sqrt{1 - 2 * R_n / (0.85 * f_c')}] = 0,00148$   
 Rasio tulangan minimum,  $\rho_{min} = \sqrt{f_c'} / (4 * f_y) = 0,00337$   
 Rasio tulangan minimum,  $\rho_{min} = 1.4 / f_y = 0,00350$   
 Rasio tulangan yang digunakan,  $\rightarrow \rho = 0,00350$   
 Luas tulangan yang diperlukan,  $A_s = \rho * b * d = 812$  mm<sup>2</sup>  
 Jumlah tulangan yang diperlukan,  $n = A_s / (\pi / 4 * D^2) = 2,136$   
 Digunakan tulangan, **3 D 22**  
 Luas tulangan terpakai,  $A_s = n * \pi / 4 * D^2 = 1140$  mm<sup>2</sup>  
 Jumlah baris tulangan,  $n_b = n / n_s = 0,75$   
 $n_b = 3 \rightarrow$  (OK)

Baris ke	Jumlah $n_i$	Jarak $y_i$	Juml. Jarak $n_i * y_i$
1	3	94,00	282,00
2	0	0,00	0,00
3	0	0,00	0,00
<b>n =</b>	<b>3</b>	$\Sigma [n_i * y_i] =$	<b>282</b>

Letak titik berat tulangan,  $d' = \Sigma [n_i * y_i] / n = 94,00$  mm  
 $94,00 > 70 \rightarrow$  **perkiraan lagi d' (NG)**

Tinggi efektif balok,  $d = h - d' = 556,00$  mm  
 $a = A_s * f_y / (0.85 * f_c' * b) = 46,264$  mm  
 Momen nominal,  $M_n = A_s * f_y * (d - a / 2) * 10^{-6} = 243,073$  kNm  
 Tahanan momen balok,  $\phi * M_n = 194,458$  kNm

Syarat :  $\phi * M_n \geq M_u^+$   
 $194,458 > 63,170 \rightarrow$  **AMAN (OK)**

## 2. TULANGAN MOMEN NEGATIF

Momen negatif nominal rencana,	$M_n = M_u^- / \phi =$	176,667	kNm
Diperkirakan jarak pusat tulangan lentur ke sisi beton,	$d' =$	50	mm
Tinggi efektif balok,	$d = h - d' =$	600,00	mm
Faktor tahanan momen,	$R_n = M_n * 10^6 / (b * d^2) =$	1,2269	
$R_n$	$<$	$R_{max}$	$\rightarrow$ (OK)
Rasio tulangan yang diperlukan :			
$\rho = 0.85 * f_c' / f_y * [1 - \sqrt{1 - 2 * R_n / (0.85 * f_c')}] =$		0,00315	
Rasio tulangan minimum,	$\rho_{min} = \sqrt{f_c'} / (4 * f_y) =$	0,00337	
Rasio tulangan minimum,	$\rho_{min} = 1.4 / f_y =$	0,00350	
Rasio tulangan yang digunakan,	$\rightarrow \rho =$	0,00350	
Luas tulangan yang diperlukan,	$A_s = \rho * b * d =$	840	mm <sup>2</sup>
Jumlah tulangan yang diperlukan,	$n = A_s / (\pi / 4 * D^2) =$	2,210	
Digunakan tulangan,	<b>3 D 22</b>		
Luas tulangan terpakai,	$A_s = n * \pi / 4 * D^2 =$	1140	mm <sup>2</sup>
Jumlah baris tulangan,	$n_b = n / n_s =$	0,75	
$n_b$ <b>3</b>	$\rightarrow$	(OK)	

Baris ke	Jumlah $n_i$	Jarak $y_i$	Juml. Jarak $n_i * y_i$
1	3	94,00	282,00
2	0	0,00	0,00
3	0	0,00	0,00
<b>n =</b>	<b>3</b>	$\Sigma [n_i * y_i] =$	<b>282</b>

Letak titik berat tulangan,	$\rightarrow$	$d' = \Sigma [n_i * y_i] / n =$	94,00	mm	
<b>94,00</b> $>$	<b>50</b>	$\rightarrow$	<b>perkiraan lagi d' (NG)</b>		
Tinggi efektif balok,		$d = h - d' =$	556,0	mm	
Momen nominal,	$a = A_s * f_y / (0.85 * f_c' * b) =$	46,264	mm		
Tahanan momen balok,	$M_n = A_s * f_y * (d - a / 2) * 10^{-6} =$	243,073	kNm		
Syarat : $\phi * M_n$	$\geq$	$M_u^-$	$\phi * M_n =$	194,458	kNm
<b>194,458</b>	$>$	<b>141,334</b>	$\rightarrow$	<b>AMAN (OK)</b>	

## 3. TULANGAN GESER

Gaya geser ultimit rencana,	$V_u =$	170,554	kN
Faktor reduksi kekuatan geser,	$\phi =$	0,60	
Tegangan leleh tulangan geser,	$f_y =$	240	MPa
Kuat geser beton,	$V_c = (\sqrt{f_c'}) / 6 * b * d * 10^{-3} =$	208,226	kN

Tahanan geser beton,

$$\phi * V_c = 124,936 \text{ kN}$$

→ **Perlu tulangan geser**

Tahanan geser sengkang,

$$\phi * V_s = V_u - \phi * V_c = 45,618 \text{ kN}$$

Kuat geser sengkang,

$$V_s = 76,030 \text{ kN}$$

Digunakan sengkang berpenampang :

<b>2</b>	P	<b>13</b>
----------	---	-----------

Luas tulangan geser sengkang,

$$A_v = n_s * \pi / 4 * P^2 = 265,46 \text{ mm}^2$$

Jarak sengkang yang diperlukan :

$$s = A_v * f_y * d / (V_s * 10^3) = 486,03 \text{ mm}$$

Jarak sengkang maksimum,

$$s_{max} = d / 2 = 278,00 \text{ mm}$$

Jarak sengkang maksimum,

$$s_{max} = 250,00 \text{ mm}$$

Jarak sengkang yang harus digunakan,

$$s = 250,00 \text{ mm}$$

Diambil jarak sengkang :

→  $s = 250 \text{ mm}$

Digunakan sengkang,

2	P	13	250
---	---	----	-----

Ujian Tengah semester :

Soal :

1. Buatlah Rumus Empiris dari Sumber Daya Air dan jelaskan variable terkait dengan kajian saudara tersebut.

Penyelesaian :

### Pengukuran Debit Mata Air

pengukuran debit dari mata air untuk perencanaan dilakukan pada musim kemarau, dan jika mungkin dilakukan juga pada musim penghujan, sehingga diperoleh angka *realible yield* yang ekstrim (mendekati kenyataan sebenarnya). Pengukuran debit mata air dapat dilakukan dengan beberapa cara salah satunya adalah:

#### 1. METODE CHIPOLETTI

Metode ini terjadi untuk (ambang trapezium) terbalik

Rumus Umum yang menghubungkan ketinggian muka air ( h ) dan debit air ( Q ) untuk alat ukur ambang chipoletti adalah sbb:

$$Q = \frac{2}{3} C_d L H^{3/2} \sqrt{2g}$$

Dimana  $C_d$  adalah koefisien Drag, jika aliran air terjadi kontraksi di muka ambang  $C_d = 0,63$  maka persamaan menjadi

$$Q = \frac{2}{3} (0,63) L h^{3/2} \sqrt{2g}$$

Maka persamaan menjadi

$$Q = 0,42 L h \sqrt{2gh}$$

Disederhanakan menjadi

Rumus yang digunakan untuk menghitung pengukuran debit:

$$Q = 1,9 L h^{3/2}$$

Dimana :

Q = Debit air (m<sup>3</sup>/detik)

L = Lebar ambang (m)

h = Tinggi air (m)

Metode Rectanguler (ambang persegi panjang) menggunakan rumus perhitungan :

$$Q = 1,9 (L - 0,2h) h^{3/2}$$

*Dimana :*

Q = Debit air (m<sup>3</sup>/detik)

L = Lebar ambang(m)

h = Tinggi air (m)

## Pengukuran Debit Air

### 1 Sekat Cipoletti

#### Alat yang diperlukan:

- 1) Sekat Trapesiodal yang sisi-sisi dalam sekat itu meruncing, seperti pada gambar 2, dibuat dari pelat logam (baja, aluminium, dan lain-lain) atau dari kayu lapis. Sekat ini tetap dipasang pada lokasi pengukuran atau hanya sementara saja.
- 2) Penggaris, tongkat ukur atau pita ukur.

#### Cara pengukuran:

- 1) Tempatkan sekat pada aliran (sungai kecil, pelimpahan mata air, dan sebagainya), yang akan diukur, pada posisi yang baik sehingga sekat betul-betul mendatar atau "h" pada kedua sisinya adalah sama;
- 2) Ukur "h" dengan penggaris, tongkat ukur atau pita ukur.

#### Perhitungan debit

Debit dihitung dengan persamaan:

$$Q = 0.0186 bh^{3/2}$$

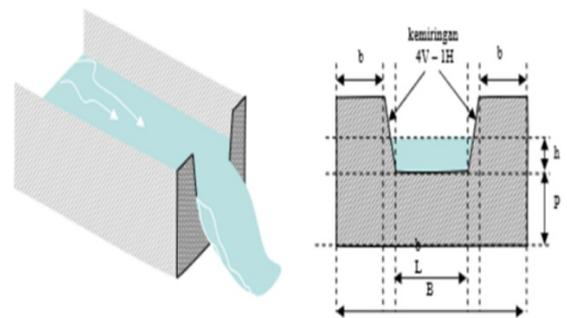
Dimana: Q dalam l/d

b dalam cm

h dalam cm

#### Keadaan untuk pengukuran:

- 1) Aliran di hulu dan di hilir sekat harus tenang;
- 2) Aliran hanya melalui sekat, tidak ada kebocoran pada bagian atas atau samping sekat;
- 3) Air harus mengalir bebas dari sekat, tidak menempel pada sekat (lihat Gambar 2).



Gambar Sekat Cipoletti

**MTS-271203**  
**Rekayasa System & Manajemen**  
**Yeni Novitasari/192710026**  
**Tugas#UTS**

**SOAL UJIAN TENGAH SEMESTER SISTEM REKAYASA MANAJEMEN PROGRAM STUDI  
TEKNIK SIPIL S2 TANGGAL 6 Juni 2020**

**Dosen: Assoc. Prof. Dr. Achmad Syarifudin**

Hasil grafik hubungan antar beberapa parameter dan variabel terkait dengan pelaksanaan konstruksi bangunan sipil (sesuai dengan kasus di lapangan yang telah anda pilih) menggambarkan pola yang bisa saja tidak sesuai dengan kondisi sebenarnya.

Silahkan anda analisis secara pendekatan matematis dan bahas lebih detail apa penyebab dan solusi yang harus dilakukan apabila grafik tersebut tidak bersesuaian dengan pelaksanaan di lapangan tersebut.

Catatan :  
Masing masing grafik harap dilampirkan

**PERCEPATAN WAKTU PELAKSANAAN PROYEK  
DENGAN METODE CPM DAN APLIKASI PROGRAM LINIER PADA  
PROYEK REHABILITASI DI SIDOREJO KABUPATEN GROBOGAN**

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Tabel 1. Perhitungan Total Float dan Free Float**

NO	URAIAN KEGIATAN	KODE	DURASI					TOTAL	FREE	KET
			ES	LS	EF	LF	TF			
I	PERCEPATAN PERSELESIAN	K01	14	5	14	0	14	0	0	Selesai
II	PEKERJAAN SALURAN									
1	Saluran Pembuangan									
	1. Beton Ready mix N. 175	K02	28	152	180	152	180	0	0	Selesai
	2. Gypsum N. 100	K03	25	94	115	94	115	0	0	Selesai
	3. Dambositas	K04	22	109	152	119	152	0	0	Selesai
	4. Dambositas Matrikles	K05	14	119	152	119	152	19	19	
	5. Membranumpu PVC dia. 2"	K06	28	70	98	70	112	24	0	
	6. Lembaran Gypsum	K07	14	70	84	70	84	0	0	
	7. Membranumpu T&E lama digunakan	K08	25	14	49	14	49	0	0	Selesai
	8. Membranumpu T&E lama digunakan	K09	28	49	78	49	70	0	0	Selesai
	9. Membranumpu T&E lama digunakan	K10	25	70	105	70	145	48	0	
	10. Gypsum 400x200	K11	21	125	156	145	166	48	0	
	11. Membranumpu T&E	K12	14	126	180	166	180	48	48	
	12. Membranumpu Membranumpu T&E	K13	28	119	152	119	152	12	12	
	13. Membranumpu T&E	K14	70	49	150	49	180	61	61	
	14. Water Stop	K15	28	98	150	122	180	24	24	
	15. Water Sealant (Dapat dipukul)	K16	7	152	180	152	180	21	21	
III	PEKERJAAN ANGGUNGAN									
1	Anggungan	K17	11	188	190	158	180	51	51	
2	Anggungan									
	1. Dambositas (H. Sr. 1a)	K18	1	61	66	114	117	21	1	
	2. Dambositas (H. Sr. 1b)	K19	14	24	108	145	129	21	1	
	3. Dambositas (H. Sr. 2a)	K20	18	66	94	117	145	21	1	
	4. Beton Ready Mix N. 175	K21	42	180	147	124	166	19	1	
	5. Dambositas	K22	42	61	105	92	124	19	1	
	6. Gypsum T&E	K23	21	38	49	47	65	15	1	
	7. Membranumpu	K24	7	154	180	173	180	18	18	
	8. Dambositas	K25	7	116	123	166	172	48	1	
	9. Dambositas	K26	14	14	18	34	47	19	1	
	10. Beton N. 100	K27	14	49	63	68	114	21	1	
	11. Dambositas (H. Sr. 2a)	K28	7	122	180	172	180	48	48	
	12. Water Stop (Dapat dipukul) N = 280 mm	K29	28	125	151	124	172	48	1	
	13. Water Stop (Dapat dipukul) N = 280 mm	K30	28	125	151	124	166	22	1	
	14. Water Sealant	K31	7	143	180	156	172	21	1	
	15. Water Sealant	K32	7	143	180	156	172	21	21	
	16. Dambositas (H. Sr. 1a)	K33	21	125	126	124	166	48	1	
	17. Dambositas (H. Sr. 2a)	K34	14	24	108	145	129	43	1	
	18. Dambositas (H. Sr. 2a)	K35	7	122	180	172	180	48	48	
	19. Dambositas (H. Sr. 2a)	K36	14	49	63	68	92	19	1	
	20. Dambositas	K37	7	147	154	166	172	19	1	
	21. Dambositas (H. Sr. 1a)	K38	14	24	108	145	129	72	72	
	22. Dambositas (H. Sr. 1b)	K39	7	61	61	145	152	61	0	
	23. Dambositas (H. Sr. 2a)	K40	21	61	84	124	145	61	0	
	24. Dambositas (H. Sr. 2a)	K41	7	21	38	152	129	61	0	
	25. Dambositas (H. Sr. 2a)	K42	7	98	105	129	166	61	0	
	26. Dambositas (H. Sr. 2a)	K43	7	125	112	126	172	61	0	
	27. Dambositas (H. Sr. 2a)	K44	7	112	109	172	180	61	11	
	28. Dambositas (H. Sr. 2a)	K45	21	84	112	145	166	61	7	
	29. Dambositas (H. Sr. 2a)	K46	7	112	119	166	172	44	0	
	30. Dambositas (H. Sr. 2a)	K47	7	108	115	129	166	21	0	
	31. Dambositas (H. Sr. 2a)	K48	7	125	122	166	172	21	0	
	32. Dambositas (H. Sr. 2a)	K49	7	122	180	172	180	21	21	
	33. Dambositas (H. Sr. 2a)	K50	21	42	63	102	124	61	0	
	34. Dambositas (H. Sr. 2a)	K51	7	119	180	172	180	24	24	
	35. Dambositas (H. Sr. 2a)									
	1. Beton Ready Mix N. 175	K52	21	61	180	158	180	24	24	
	2. Dambositas	K53	28	25	62	121	159	26	1	
	3. Dambositas	K54	7	28	25	87	121	26	1	
	4. Dambositas									
	1. Beton Ready Mix N. 175	K55	28	91	180	152	180	61	61	
	2. Dambositas	K56	49	42	91	103	152	61	1	
	3. Gypsum N. 100	K57	14	14	18	14	37	61	1	
	4. Dambositas	K58	14	28	42	37	103	61	1	

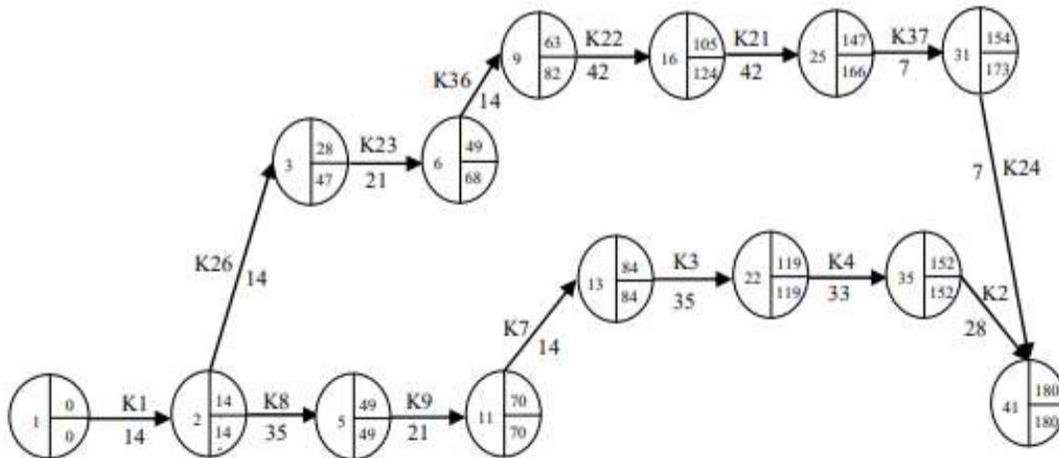
Sumber: Analisis data proyek

**Tabel 2. Waktu dan biaya kondisi normal dan crash**

Kegiatan	Normal		Crash		COST SLOPE (Rp)
	Waktu (Hari)	Biaya Langsung (Rp)	Waktu (Hari)	Biaya Langsung (Rp)	
K2	28	21.142.662,00	21	31.713.991,68	1.510.189,95
K3	35	16.093.350,00	27	23.450.308,98	919.619,87
K4	33	11.193.051,60	25	16.619.986,11	678.366,81
K7	14	1.043.280,00	11	1.490.399,40	149.039,80
K8	35	43.489.689,60	27	63.370.691,58	2.485.125,25
K9	21	17.814.180,00	16	26.297.122,86	1.696.588,57
K21	42	45.468.948,00	32	67.120.828,00	2.165.188,00
K22	42	24.071.673,60	32	35.534.375,31	1.146.270,17
K23	21	21.013.804,00	16	31.020.377,33	2.001.314,67
K26	14	1.788.318,00	11	2.554.740,00	255.474,00
K36	14	1.852.200,00	11	2.646.000,00	264.600,00

Sumber: Hasil Analisa

**Model Matematis**



**Gambar 2. NWP lintasan kegiatan K1,K8,K9,K7,K3,K4,K2 dan K26,K23,K36,K22,K21,K37,K24.**

Berdasarkan diagram jaringan kerja (NWP) pada Gambar 2. diatas serta waktu normal dan *cost slope* pada

Tabel 2. maka dibuatkan model matematis sebagai berikut :

a) Fungsi Tujuan :

$$\begin{aligned}
 \text{Min } Z = & 0 X1 + 2485125,25 X8 + \\
 & 1696588,57 X9 + 149039,8 X7 \\
 & + 919619,87 X3 \\
 & + 678366,81X4 + 1510189,95 X2 + \\
 & 255474 X26+ 2001314,57 X23 + \\
 & 264600 X36 + 1146270,17 X22 +
 \end{aligned}$$

b) Fungsi

Batasan

$$\text{MPA8} = 0$$

$$\text{X8} + \text{MPA9} = 49$$

$$\text{X9} - \text{MPA9} + \text{MPA7} = 21$$

$$\text{X7} - \text{MPA7} + \text{MPA3} = 14$$

$$\text{X3} - \text{MPA3} + \text{MPA4} = 3$$

$$\text{X4} - \text{MPA4} + \text{MPA2}$$

$$= 33$$

$$\text{X2} = \text{MPA2} + \text{SPA2} =$$

$$28 \text{ SPA2} = \text{T}$$

$$\text{X1} = 0$$

$$\text{X8} \leq 8$$

$$\text{X9} \leq 5$$

$$\text{X7} \leq 3$$

$$\text{X3} \leq 8$$

$$\text{X4} \leq 8$$

$$\text{X2} \leq 7 \text{ MPA26} =$$

$$14 \text{ X26} +$$

$$\text{MPA23} = 28$$

$$\text{X23} - \text{MPA23} + \text{MPA36} = 21$$

$$\text{X36} - \text{MPA36} + \text{MPA22} = 14$$

$$\text{X22} - \text{MPA22} + \text{MPA21} = 42$$

$$\text{X21} - \text{MPA21} + \text{MPA37} = 42$$

$$\text{X24} - \text{MPA24} +$$

$$\text{SPA24} = 7 \text{ SPA24} -$$

$$\text{SPA2} \leq 0$$

$$\text{X26} \leq 3$$

$$X_{23} \leq 5$$

$$X_{36} \leq 3$$

$$X_{22} \leq 10$$

$$X_{21} \leq 10$$

$$X_{37} = 0$$

$$X_{24} = 0$$

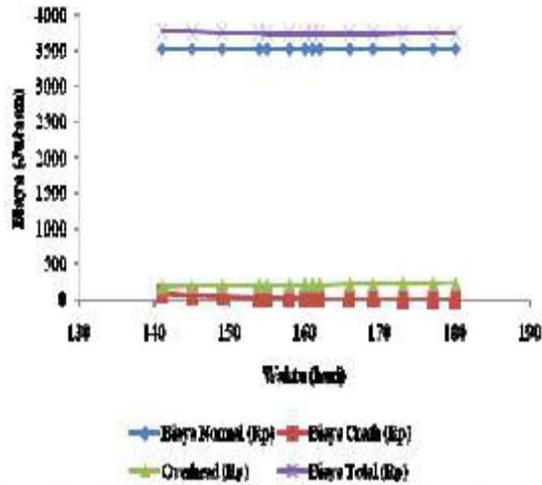
Dengan  $T$  = waktu penyelesaian proyek yang diinginkan.

Perhitungan model matematik dalam penelitian ini menggunakan program linier LINDO. Hasil perhitungan dengan beberapa waktu penyelesaian proyek yang berupa biaya langsung percepatan dan kegiatan yang dipercepat ditampilkan pada tabel 3 berikut.

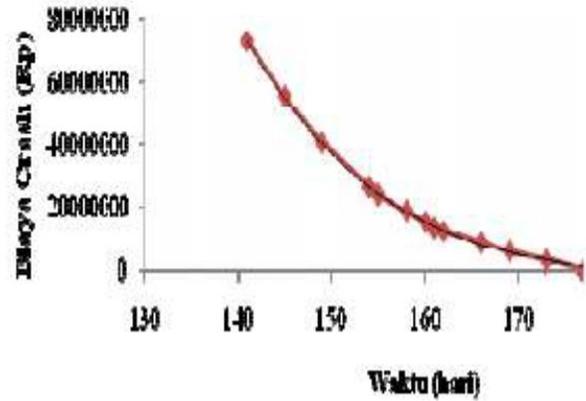
**Tabel 3. Waktu, Biaya langsung percepatan dan kegiatan yang dipercepat**

Waktu Penyelesaian Proyek (Hari)	Biaya Langsung Percepatan (Rp)	Kegiatan-Kegiatan yang dipercepat	
		Nilai Xi	Keterangan
180	0	Semua variabel = 0	Normal, tidak ada percepatan
173	3.160.587,00	X7 = 3 X4 = 4	Kegiatan K7 dipercepat 3 hari Kegiatan K4 dipercepat 4 hari
166	8.632.914,00	X7 = 3 X3 = 3 X4 = 8	Kegiatan K7 dipercepat 3 hari Kegiatan K3 dipercepat 3 hari Kegiatan K4 dipercepat 8 hari
161	13.231.010,00	X7 = 3 X3 = 8 X4 = 8	Kegiatan K7 dipercepat 3 hari Kegiatan K3 dipercepat 8 hari Kegiatan K4 dipercepat 8 hari
159	16.762.340,00	X7 = 3 X3 = 8 X4 = 8 X2 = 2 X26 = 2	Kegiatan K7 dipercepat 3 hari Kegiatan K3 dipercepat 8 hari Kegiatan K4 dipercepat 8 hari Kegiatan K2 dipercepat 2 hari Kegiatan K26 dipercepat 2 hari
154	26.508.835,00	X7 = 3 X3 = 8 X4 = 8 X2 = 7 X26 = 3 X36 = 3 X22 = 1	Kegiatan K7 dipercepat 3 hari Kegiatan K3 dipercepat 8 hari Kegiatan K4 dipercepat 8 hari Kegiatan K2 dipercepat 7 hari Kegiatan K26 dipercepat 3 hari Kegiatan K36 dipercepat 3 hari Kegiatan K22 dipercepat 1 hari
141	73.194.470,00	X8 = 8 X9 = 5 X7 = 3 X3 = 8 X4 = 8 X2 = 7 X26 = 3 X23 = 4 X36 = 3 X22 = 10	Kegiatan K8 dipercepat 8 hari Kegiatan K9 dipercepat 5 hari Kegiatan K7 dipercepat 3 hari Kegiatan K3 dipercepat 8 hari Kegiatan K4 dipercepat 8 hari Kegiatan K2 dipercepat 7 hari Kegiatan K26 dipercepat 3 hari Kegiatan K23 dipercepat 4 hari Kegiatan K36 dipercepat 3 hari Kegiatan K22 dipercepat 10 hari

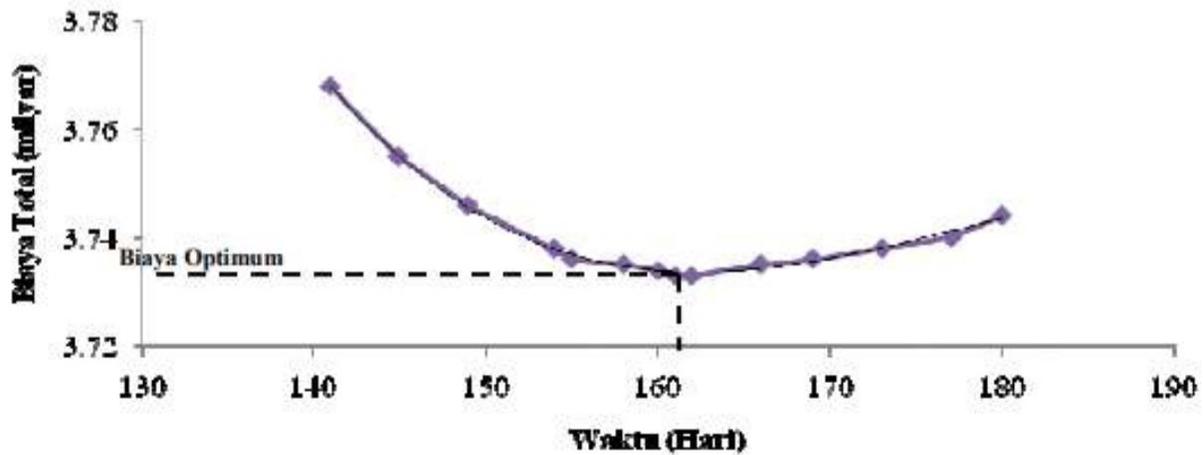
Sumber: Hasil Analisa Program Linier Lindo.



Gambar 3. Perubahan Biaya *Crash*, *Overhead* dan Biaya total terhadap waktu pelaksanaan



Gambar 4. Hubungan Biaya *Crash* dan waktu pelaksanaan



Gambar 5. Hubungan Biaya total dan waktu pelaksanaan

## **Pembahasan.**

### 1. Waktu dan Biaya Normal

Waktu penyelesaian proyek dengan durasi normal adalah 180 hari dengan biaya langsung normal yang terdiri dari biaya bahan, biaya alat dan upah pekerjaan sebesar Rp.3.519.361.000,00 dan biaya *overhead* Rp.1.248.000,00 x 180 hari = Rp.224.640.000,00.

### 2. Waktu dan Biaya percepatan

Dari hasil analisa biaya percepatan seperti yang ditampilkan pada Tabel 4. dan Gambar 4. terlihat jika waktu penyelesaian proyek dipercepat hingga kurang dari 156 hari, biaya oercepatan akan meningkat/naik lebih besar dibanding dengan pengurangan biaya *overhead*. Sehingga apabila proyek dipercepat dengan waktu kurang dari 156 hari biaya percepatan akan jauh lebih besar dari pada pengurangan biaya tidak langsung (*overhead*).

### 3. Waktu dan Biaya yang optimal

Berdasarkan hasil analisa biaya percepatan, biaya normal dan biaya *overhead* maka akan diperoleh waktu dan

biaya yang optimal, seperti yang diperlihatkan pada Tabel 4. dan Gambar 5 waktu penyelesaian proyek yang optimal adalah 161 hari dengan biaya total Rp. 3.733.520.010,00. Dengan waktu dan biaya yang optimal tersebut, diperoleh waktu pelaksanaan proyek 19 hari lebih cepat dari waktu normal 180 hari atau 10,56 % dan efisiensi biaya yang diperoleh sebesar Rp. 10.480.990,00 dari biaya normal Rp 3.744.001.000,00 atau sebesar 0,28 %.

## **KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil optimasi biaya dan waktu, diperoleh waktu penyelesaian proyek yang optimum adalah 161 hari dengan biaya total sebesar Rp 3.733.520.010,00. Waktu pelaksanaan proyek 19 hari lebih cepat dari waktu normal proyek 180 hari atau 10,56% dan diperoleh efisiensi biaya sebesar Rp 10.480.990,00 dari biaya normal Rp 3.744.001.000,00 atau sebesar 0,28%.









NAMA : YOGI ADINATA  
NIM : 192710003  
MATKUL : UTS REKAYASA SISTEM & MANAJEMEN  
DOSEN : Dr. ACHMAD SYARIFUDIN, M.Sc



## RUMUSAN TENTANG LRT (JALAN & TRANSPORTASI)

### BAB I PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

LRT (Light rail transit) yaitu sebuah alat transportasi darat berbentuk rel kereta api yang relnya berada 5 meter diatas tanah. Pada saat ini rel masih dalam proses pembuatan yang kira-kira akan selesai sebelum ASEAN Games 2018 dimulai. Inilah saatnya untuk kota Palembang dikenal di dunia luas, baik dari kebudayaannya dan juga pariwisatanya. LRT juga bisa menjadi sarana transportasi untuk menikmati keindahan yang dimiliki kota Palembang.

Dalam praktik di lapangan, penyusun hanya meneliti di bagian tertentu saja, yaitu: Saat meneliti penyusun melihat setidaknya puluhan pohon terpaksa dikorbankan akibat dari pembangunan ini. Selain pohon, beberapa koleksi taman milik Pemkot Palembang juga terpaksa dikorbankan demi terwujudnya pembangunan monorel tersebut.

Sampai saat ini, bukan hanya beberapa pohon dan taman yang telah dikorbankan tapi pembuatan monorel ini juga menyebabkan kemacetan yang teramat panjang. Keadaan inilah yang tengah dirasakan sejumlah masyarakat kota Palembang, ini merupakan efek dari adanya pembangunan LRT di Palembang. Berdasarkan uraian di atas, maka penyusun bermaksud untuk melakukan sebuah penelitian tentang "Pembangunan LRT (Light Rail Transit) Di Kota Palembang" yang tengah berlangsung sekarang.

#### 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

- 1.2.1 Bagaimana kondisi lalu lintas di sekitar tempat pembangunan LRT?
- 1.2.2 Bagaimana aktivitas warga pada saat pembangunan LRT?
- 1.2.3 Adakah dampak yang dirasakan oleh masyarakat terhadap pembangunan LRT tersebut?
- 1.2.3 Adakah cara untuk menanggulangi kemacetan di lokasi tersebut?

#### 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

- 1.3.1 Untuk mengetahui kondisi lalu lintas di sekitar tempat pembangunan LRT.

- 1.3.2 Untuk lebih memahami aktivitas warga saat pembangunan LRT berlangsung.
- 1.3.3 Untuk dapat lebih mengetahui dampak yang dirasakan oleh masyarakat terhadap pembangunan LRT.
- 1.3.4 Untuk menemukan cara mengatasi kemacetan di sekitar lokasi pembangunan..

#### 1.4 MANFAAT PENELITIAN

Adapun manfaat dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

- 1.4.1 Bagi pembaca agar pembaca dapat mengetahui bagaimana kondisi lalu lintas disekitar tempat pembangunan tersebut.
- 1.4.2 Bagi pembaca agar pembaca dapat mengetahui mengenai aktivitas masyarakat di sekitar tempat pembangunan LRT tersebut.
- 1.4.3 Bagi pembaca agar pembaca dapat mengetahui dampak apa sajakah yang akan ditimbulkan dari pembangunan LRT tersebut.
- 1.4.4 Bagi pembaca agar pembaca dapat mengetahui cara apa saja yang bias dilakukan untuk mengatasi kemacetan disekitar tempat pembangunan LRT tersebut.
- 1.4.5 Bagi penyusun agar penyusun bisa memberitahukan kepada pembaca mengenai lalu lintas, dampak yang ditimbulkan, dan cara mengatasi kemacetan di sekitar lokasi pembangunan LRT tersebut.

#### 1.5 HIPOTESIS PENELITIAN

Hipotesis dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

- 1.5.1 Setelah maupun sebelum LRT dibangun kondisi lalu lintas di sekitar lokasi tersebut sudah terlihat sangat tidak bersahabat karena di lokasi tersebut seringkali terjadinya macet. Jadi dengan ditambahnya penyempitan badan jalan akibat pembangunan tersebut hanya akan memperburuk keadaan
- 1.5.2 Hampir setiap hari aktivitas masyarakat hanya pergi lalu pulang dan penyusun rasa ini masih dalam batas jangka normal, oleh karena itu penyusun rasa setelah dibangunnya LRT tersebut tidak begitu mempengaruhi aktivitas masyarakat di sekitar tempat pembangunan tersebut.
- 1.5.3 Dampak yang ditimbulkan dari pembangunan LRT tersebut ada dua baik itu dampak negatif yaitu yang kita rasakan dan dampak positif yang bias kita rasakan setelah LRT tersebut selesai atau rampung dibangun.
- 1.5.4 Cara mengatasi kemacetan tidak menjadi parah yaitu dengan kesadaran masyarakat itu sendiri dan jika parah pengendara tidak begitu egois mungkin lalu lintas akan lebih teratur dan lancar.

## BAB II

### PEMBAHASAN

Berdasarkan dari rumusan masalah pada bab I dijelaskan bahwa terdapat adanya empat rumusan masalah. Adapun data yang kami peroleh untuk menjawab rumusan masalah tersebut adalah sebagai berikut.

#### 2.1 Kondisi Lalu Lintas di Sekitar Pembangunan LRT

Berdasarkan hasil pengamatan yang telah dilakukan selama beberapa hari terakhir, penyusun menyatakan bahwa, kondisi lalu lintas di sekitar pembangunan LRT terlihat cukup rumit. Kata rumit yang berarti terjadinya kemacetan yang teramat panjang karena adanya penyempitan badan jalan yang membuat kondisi kendaraan tidak berjalan seperti biasanya dan tidak banyak juga pengendara yang sering memotong jalan. Kemacetan yang terjadi dimulai dari Masjid Agung sampai di depan pasar Cinde.

Tidak hanya membuat pengendara menjadi terlambat beraktivitas tetapi kemacetan ini juga merusak pemandangan yang diakibatkan tumpukan kendaraan yang berlebihan sehingga membuat kota Palembang menjadi tidak enak dipandang saat dilihat terutama di lihat dari ketinggian seperti di atas jembatan penyeberangan yang berada di depan IP (Internasional Plaza) Mall dan jembatan penyeberangan pasar Cinde.

Pada saat ini kemacetan memang belum parah tetapi jika dibiarkan kemacetan akan menjadi parah dan akan mengganggu aktivitas pejalan kaki yang ingin menyebrang. Kemacetan juga bisa mengganggu para pengendara yang ingin berpergian, karena kemacetan terjadi bukan hanya berlangsung selama beberapa puluh menit saja tetapi jika sedang parah-parahnya akan berlangsung selama berjam-jam. Penyebab inilah yang membuat pengendara sering terlambat ke sekolah atau ketempat kerja karena kemacetan yang berlangsung selama berjam-jam.

#### 2.2 Aktivitas Masyarakat Pada Saat Pembangunan LRT Berlangsung

Pembangunan LRT bukan hanya menyebabkan kemacetan saja tapi juga mengganggu banyak aktivitas masyarakat kota Palembang. Dalam taraf normal aktivitas para warga saat pagi hari hanyalah pergi ke sekolah atau ketempat kerja dan pada sore hari pulang dari sekolah atau tempat kerja. Tetapi taraf normal itu terganggu karena pembangunan LRT yang membuat kemacetan panjang sehingga membuat aktivitas masyarakat menjadi lambat.

Penyusun juga sempat mengamati salah satu aktivitas siswa yang sedang ingin pergi ke sekolah, siswa itu bangun dan bersiap untuk pergi ke sekolah dipagi hari dengan santainya ia berkendara menyusuri setiap jalan dan saat tiba di arah masjid Agung siswa tersebut mulai terjebak macet. "Awalnya saya berkendara lancar-lancar saja tapi setelah masuk ke arah masjid Agung saya mulai terjebak macet, saya kira macet ini hanya sampai beberapa menit saja ternyata dugaan saya salah karena saya terjebak macet hampir satu

jam lebih sehingga membuat saya terlambat ke sekolah.” Tutur siswa tersebut. Jadi dari cerita siswa tersebutlah penyusun bias menyimpulkan bahwa pembangunan LRT tersebut sangat mengganggu aktivitas masyarakat di kota Palembang.

#### 2.4 Dampak yang Dirasakan Masyarakat terhadap Pembangunan LRT

Bukan hanya terjadi kemacetan dan mengganggu aktivitas para warga tapi pembangunan ini juga dapat menimbulkan negatif bagi masyarakat di kota Palembang. Dampak negative yang di timbulkan akibat pembangunan LRT tsrsebut yaitu; rasa tidak aman dalam berkendara di karenakan kemacetan yang begitu amat panjang sehingga bias saja membuat pengendara merasa mengantuk dalam berkendara dan tidak hanya itu, pembangunan tersebut juga menyebabkan timbulnya polusi baik itu polusi udara ataupun polusi suara.

Dampak yang ditimbulkan akibat pembangunan LTR tersebut tidak hanya dampak negatife tetapi juga terdapat dampak positifnya juga. Dampak positif bisa dirasakan oleh masyarakat kota Palembang dikemudian hari apabila pembangunan LRT telah selesai yang bisa saja mengurangi tingkat kemacetan karena berkurangnya pengendara bermotor ataupun mobil dan polusi udara maupun suara yang tidak akan terdengar lagi. Setelah pembangunan LRT selesai masyarakat juga bisa mencoba menaiki kereta tersebut dan secara otomatis juga bias mengurangi jumlah pengendara di kota Palembang.

#### 2.4 Cara Mengatasi Kemacetan Disekitar Pembangunan LRT

Kemacetan di kota Palembang semakin hari semakin parah saja, apalagi ditambah dengan pembangunan LRT yang memakan hampir setengah jalan. Dinas Perhubungan kota Palembang seharusnya memikirkan terlebih dahulu dampak apa saja yang akan timbul sebelum melakukan pembangunan. Karena, sebelum melakukan pembangunan kondisi disekitar daerah tersebut sering terjadi kemacetan dan sekarang ditambah lagi dengan pembangunan LRT tersebut membuat kemacetan semakin parah.

Kemacetan yang semakin parah membuat banyak masyarakat menjadi resah dan untuk mengantisipasi agar kemacetan bisa diatasi diantaranya: melakukan sistem buka tutup jalan; pembuatan atau pembentukan jalan alternatif; pembangunan lebih dipercepat; menambah kedisiplinan masyarakat; dan menanamkan rasa taat dalam berlalu lintas. Apabila cara tersebut dilakukan maka kemungkinan besar akan mengurangi tingkat kemacetan di kota Palembang.

## BAB III

### SIMPULAN, SARAN, DAN PENUTUP

#### 3.1 SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

3.1.1 Lau lintas menjadi terganggu akibat pembangunan LRT tersebut. Kemacetan juga bias berlangsung selama berjam-jam akibat pembangunan LRT tersebut.

3.1.2 Banyak masyarakat di kota Palembang merasa terganggu dengan pembangunan LRT tersebut.

3.1.3 Dampak yang ditimbulkan dari pembanguana LRT yaitu timbulnya polusi baik apolusi udara maupun polusi suara dan timbul rasa ketidaknyamanan masyarakat akibat pembangunan tersebut.

3.1.4 Pemerintah kota Palembang seharusnya melakukan pelebaran jalan terlebih dahulu sebelum memulai pembangunan tersebut baik itu jalur kiri maupun jalur kanan dan timbulkan rasa taat berlalu lintas agar tidak terjadi kemacetan yang begitu parah.

#### 3.2 SARAN

Setelah melakukan penelitian ini, penulis memberikan saran sebagai berikut.

1. Kepada pembaca agar tidak terjebak dalam kemacetan diharapkan kepada pembaca untuk berangkat lebih pagi lagi untuk menjalankan aktivitas seperti biasanya.
2. Kepada pembaca diharapkan agar lebih menerima dan memaklumi pembangunan LRT tersebut karena untuk kedepannya masyarakat akan merasakan indahnya juga.
3. Kepada pembaca diharapkan agar tidak terkena polusi di harapkan kepada pembaca saat beraktivitas di sekitar lokasi pembangunan untuk menggunakan masker atau semacamnya agar tidak merasa terganggu karena polusi yang ditimbulkan.
4. Kepada pembaca diharapkan untuk lebih tertib lagi dalam berkendara agar tidak terjadi sesuatu hal yang tidak diinginkan dan ini juga bias mengurangi kemacetan di sekitar lokasi tersebut.

#### 3.3 PENUTUP

Demikian karya tulis ilmiah ini penyusun buat dan penyusun mohon maaf apabila ada salah kata dalam penulisan karya tulis ilmiah. Penyusun juga berharap agar pembaca dapat memberikan kritik dan sarannya terhadap karya tulis ilmiah yang penyusun buat. Semoga karya tulis ilmiah ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

#### DAFTAR PUSTAKA

Hendrawan. 2016. Membaca Berita (<http://m.tempo.co.id>). Diakses pada tanggal 11 Januari 2016.

Triansyah. 2015. Penebangan Pohon (<http://palembang.tribunnews.com>). Diakses pada tanggal 17 Desember 2015.

## Kajian Empiris Gedung

# Kajian Empiris Perbandingan Biaya Konstruksi Baja dan Beton pada Pembangunan Gedung Fakultas Ilmu Pendidikan Universitas Tribhuwana Tunggaladewi Malang

### *Abstract*

*In a construction project on building planning, the selection of materials and materials is very necessary. This is so that the building project can run well, with an efficient cost and can be carried out on time and has the strength to bear the burden on the building. The method to be carried out is an important part of project implementation. The important thing is the coefficient in the execution of work at a lower cost. Determination of the coefficient of work implementation must refer to the Indonesian National Standard (SNI). Steel is a construction material that is resistant to tensile force while concrete is a strong construction material against compressive force. However, of these two materials have different prices, strengths and methods of implementation. Structural analysis in this study uses the staad Pro V8i software to determine internal forces in the structure. In calculating the cost budget analysis used is the analysis of the Ministry of PUPR in 2016. From observations made on the column and beam building construction of the Faculty of Education, University of Tribhuwana Tunggaladewi Malang which has a building area of 205.7 m<sup>2</sup> and consists of five floors with a height of 23.08 m by using a steel structure WF (Wide Flange) on the existing building with a total planning cost of Rp 766.560.101,24. While the total cost of planning reinforced concrete as a comparison of the steel structure is worth Rp 449,250,345.85. From the results of data analysis that has been done to find a more economical price is reinforced concrete structure with the difference between the two comparisons is Rp. 317.309.755,39. The savings in the cost of planning work for column structures and reinforced concrete beams reached 37% more economical than steel.*

***Keywords : comparison of costs, building structure, steel construction, reinforced steel and concrete construct***

---

### **1. Pendahuluan**

Estimasi biaya konstruksi merupakan hal penting dalam dunia industri konstruksi. Ke tidak akuratan estimasi dapat memberikan efek negatif pada seluruh proses konstruksi dan semua pihak yang terlibat. Hal yang penting dalam pemilihan metode estimasi biaya awal haruslah akurat, mudah, dan efisien dalam penggunaannya. Salah satu metode yang digunakan untuk melakukan estimasi biaya konstruksi adalah menghitung secara detail harga satuan pekerjaan berdasarkan nilai indeks atau koefisien untuk analisis biaya bahan.

Pada proyek pembangunan gedung FIP di Universitas Tribhuwana Tungadewi Malang ini memiliki ciri khas pada konstruksinya yaitu pemilihan struktur yang hanya memakai konstruksi baja yang memiliki ketinggian empat tingkat. Sehingga diperlukan adanya perbandingan konstruksi baja dengan beton bertulang dalam bentuk desain, mengetahui biaya bahan konstruksi baja dengan beton bertulang, untuk mengetahui alternatif yang lebih ekonomis berdasarkan perbandingan tersebut.

Untuk struktur balok dan kolom ini merupakan satu kesatuan yang kokoh dan biasanya sering disebut kerangka (portal) dari suatu gedung (Frick, 1980). Jenis baja pada bangunan merupakan suatu bahan dengan keserba-samaan yang besar, yang terutama terdiri atas ferrum ( $Fe$ ) dalam bentuk hablur dan 0,04 @ 1,6 % zat-arang ( $C$ ) (Potma & Vries, 1994). Suatu komponen struktur yang mengalami gaya tekan konsentris, akibat beban terfaktor  $N_u$ , menurut (Badan Standarisasi Nasional, 2000). Komponen struktur yang dibebani secara konsentris, di mana seluruh serat bahan masih dalam kondisi elastik hingga terjadinya tekuk, perlahan-lahan melengkung (Setiawan, 2008). Beton memiliki kuat tekan yang tinggi dan kuat tarik yang sangat rendah atau lemah (Nawi, 1998). Hubungan antara beban aksial dan momen lentur digambarkan dalam suatu diagram yang disebut Diagram Interaksi Kolom  $M - N$  (Asroni, Kolom Fondasi dan Balok T Beton Bertulang, 2010). Luas total ( $A_{st}$ ) tulangan longitudinal (tulangan memanjang) kolom harus memenuhi syarat (Badan Standarisasi Nasional, 2002). Pada balok beton bertulang menahan momen pada penampang retak dapat ditahan oleh baja tulangan (Asroni, Balok dan Pelat Beton Bertulang, 2010).

Jenis beban yang akan dipakai pada pembahasan kali ini adalah beban mati (DL), dan beban hidup (LL) (Badan Standarisasi Nasional, 1983). Beban mati atau berat sendiri bahan bangunan dan komponen gedung berdasarkan Badan Standarisasi Nasional, 1983 adalah sebagai berikut.

- Baja =  $7850 \text{ kg/m}^3$
- Batu alam =  $2600 \text{ kg/m}^3$
- Beton bertulang =  $2400 \text{ kg/m}^3$
- Pasangan bata merah =  $1700 \text{ kg/m}^3$

Beban mati tambahan berdasarkan Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung (PPIUG 1983):

- Beban finishing (keramik) =  $24 \text{ kg/m}^2$
- Plester 2.5 cm ( $2.5 \times 21 \text{ kg/m}^2$ ) =  $53 \text{ kg/m}^2$
- Beban ME =  $25 \text{ kg/m}^2$
- Beban plafond dan penggantung =  $18 \text{ kg/m}^2$
- Beban dinding =  $250 \text{ kg/m}^2$

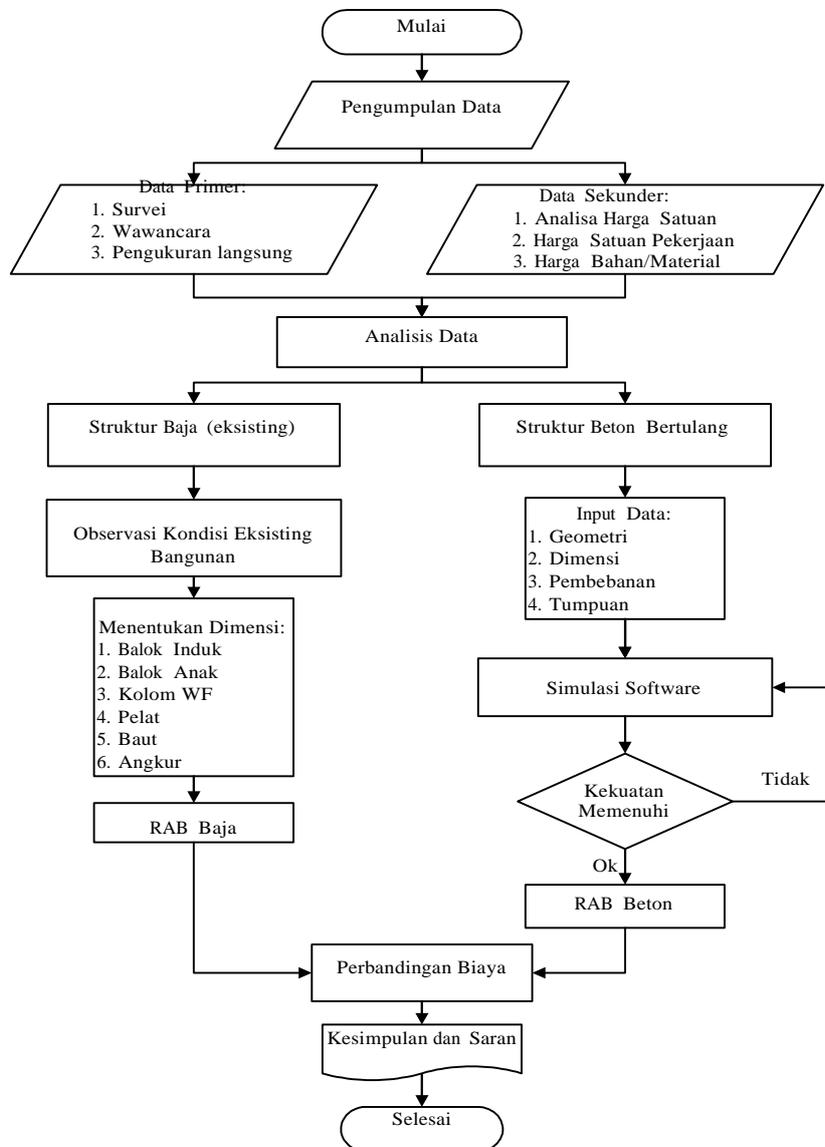
Untuk beban hidup berdasarkan fungsi dari gedung tersebut memiliki peraturan-peraturan dari, pada Lantai sekolah, ruang kuliah, kantor, toko, toserba, restoran, hotel, asrama dan rumah sakit besar beban hidup tersebut adalah  $250 \text{ kg/m}^2$ .

Rekayasa struktur pada umumnya dimulai dari pembuatan model struktur, kemudian dianalisis untuk menghitung gaya-gaya internal batang, reaksi tumpuan dan

deformasi yang terjadi (Dewobroto, 2013). Analisis struktur yang digunakan berfungsi untuk menentukan reaksi, gaya-gaya dalam ( $M_x$ ,  $M_y$ ,  $M_z$ ,  $F_x$ ,  $F_y$ , dan  $F_z$ ) dan deformasi yang terjadi pada struktur akibat beban yang bekerja (gaya-gaya luar) pada struktur sehingga struktur dapat didesain secara rasional (Wahono, 2015).

Rencana Anggaran Biaya adalah perhitungan banyaknya biaya yang diperlukan untuk bahan dan upah, serta biaya-biaya lain yang berhubungan dengan pelaksanaan bangunan atau proyek (Badan Standarisasi Nasional, 2008). Pada perencanaan sebuah gedung, material atau bahan sangat berpengaruh dalam suatu perencanaan terutama di biaya anggaran dan kekuatan pada sebuah gedung. Dalam menghitung anggaran biaya analisa yang digunakan adalah analisa dari kementerian PUPR tahun 2016.

## 2. Materi dan Metode



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

Lokasi penelitian ini dilakukan di Universitas Tribhuwana Tunggaladewi yang sedang melakukan pembangunan gedung baru yaitu gedung FIP. Secara geografis Gedung FIP tersebut terletak pada 112°35'59.47" Bujur Timur dan 7°55'59.07" Lintang Selatan. Lebih tepatnya terletak di dalam kompleks Universitas Tribhuwana Tunggaladewi.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Pada konstruksi kolom dan balok yang digunakan untuk bangunan tersebut menggunakan profil baja seperti pada tabel berikut ini.

Tabel 1. Profil Baja Eksisting

Konstruksi	Tipe	Profil
Kolom	K1	WF . 350 . 175 . 7
	K2	WF . 200 . 100 . 5,5
Balok	B1	WF . 300 . 150 . 6 castella beam
	B2	WF . 250 . 125 . 6
	B3	WF . 250 . 125 . 6
	B4	WF . 150 . 75 . 5

Dalam perencanaan dan pelaksanaan pembangunan gedung FIP tersebut yang memiliki luas bangunan 205,7 m<sup>2</sup> dan terdiri dari lima lantai dengan ketinggian 23,08 m dari lantai dasar sampai atap. Pada bangunan lantai dasar bangunan tersebut menggunakan struktur beton bertulang sedangkan dari lantai dua hingga atap strukturnya menggunakan baja.

Tabel 2. Perbandingan Struktur Baja Dan Beton Bertulang

No.	Tipe	Struktur		
		Baja	Beton	
			Ukuran	Ø Tulangan
1	Balok B1	WF . 300 . 150 . 6 castella beam	25x45	8 Ø 13
2	Balok B2	WF . 250 . 125 . 6	20x40	8 Ø 13
3	Balok B3	WF . 250 . 125 . 6	15x30	5 Ø 13
4	Balok B4	WF . 150 . 75 . 5	15x25	5 Ø 13
5	Kolom K1	WF . 350 . 175 . 7	30x30	8 Ø 16
6	Kolom K2	WF . 200 . 100 . 5,5	20x20	8 Ø 10

Rencana anggaran biaya struktur baja berdasarkan hasil survei dan data dari kontraktor sebesar Rp 766.596.342,04 dengan analisa PERMEN PU 2016.

Tabel 3. Rincian Anggaran Baja

No	Pekerjaan	Biaya (Rp)
1	Pembuatan Gudang alat-alat	5.309.290,00
2	Tiang WF 350.175.7.11	189.782.019,84
3	Balok WF.300.150.6.9 <i>Castella Beam</i>	120.362.905,44
4	Balok WF.250.150.6.9	388.309.754,88
5	Rip Kolom WF.350 t.10mm	8.182.709,78

6	Plat Simpul Balok WF. 300 dan WF.250 t.8mm	25.963.842,00
7	Rip Balok WF. 250 t.8mm	15.487.204,00
8	Baut 3/4" Plat Simpul	8.446.000,00
9	Plat Plendes dan Rip Plendes Kolom WF.350 t.12mm	4.716.375,30
10	Pengerjaan per kg pekerjaan perakitan	42.255.205,86
<b>TOTAL</b>		<b>766.560.101,24</b>

Rencana anggaran biaya struktur beton bertulang sebagai pembanding struktur baja berdasarkan hasil analisis perhitungan yang telah dihitung dengan menggunakan analisa PERMEN PU 2016 sebesar Rp 449.250.345,85 dengan rincian biaya seperti pada tabel berikut ini.

Tabel 4. Rincian Anggaran Beton Bertulang

No	Pekerjaan	Biaya (Rp)
1	Pembuatan Gudang alat-alat	5.309.290,00
2	Kolom 1 (K1) 30x30 cm, mutu K-225	77.986.430,13
3	Kolom 2 (K2) 20x20 cm, mutu K-225	14.550.153,02
4	Balok 1 25x45 cm, mutu K-225	112.364.879,70
5	Balok 2 20x40 cm, mutu K-225	123.106.791,20
6	Balok 3 15x30 cm, mutu K-225	40.902.145,90
7	Balok 3 15x30 cm, mutu K-225	8.421.030,04
8	Balok 4 15x25 cm, mutu K-225	66.609.625,86
<b>TOTAL</b>		<b>449.250.345,85</b>

Data pada diagram perbandingan biaya ini didapat dari hasil perhitungan RAB struktur baja eksisting dan struktur beton bertulang sebagai pembanding struktur baja.



Gambar 2. Diagram perbandingan biaya

Dari hasil analisis yang ditampilkan pada diagram di atas dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan biaya anggaran antara struktur baja dan struktur beton bertulang dengan selisih biaya Rp 317.309.755,39. Jadi dari perbandingan kedua material tersebut ternyata lebih ekonomis struktur beton bertulang 37%.

#### 4. Kesimpulan

Penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut:

Desain konstruksi beton sebagai pembanding konstruksi baja eksisting dengan kekuatan yang sama pada konstruksi gedung FIP sebagai berikut:

- Pada balok B1 25x45 dengan tulangan 8 Ø 13 sebagai pembanding struktur baja.
- Pada balok B2 20x40 dengan tulangan 8 Ø 13 sebagai pembanding struktur baja.
- Pada balok B3 15x30 dengan tulangan 5 Ø 13 sebagai pembanding struktur baja.
- Pada balok B4 15x25 dengan tulangan 5 Ø 13 sebagai pembanding struktur baja.
- Pada kolom K1 30x30 dengan tulangan 18 Ø 16 sebagai pembanding struktur baja.
- Pada kolom K2 20x20 dengan tulangan 18 Ø 10 sebagai pembanding struktur baja.

Perbandingan biaya antara konstruksi baja dan beton bertulang pada gedung FIP dengan harga pada struktur baja Rp 766.596.342,04 dan harga pada struktur beton bertulang Rp 449.250.345 adalah sebesar Rp 317.309.755,39 dengan persentase 41%.

Alternatif yang lebih ekonomis berdasarkan perbandingan kedua material tersebut yaitu baja dan beton bertulang adalah beton bertulang.

#### Daftar Pustaka

- [1] H. Frick, Ilmu Konstruksi Bangunan 1, Semarang: Kanisius, 1980.
- [2] A. P. Potma and J. E. D. Vries, Konstruksi Baja, Jakarta: Pradnya Paramita, 1994.
- [3] Badan Standarisasi Nasional, Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Pembangunan Gedung, SNI-03-1729, Bandung: Departemen Pekerjaan Umum, 2000.
- [4] A. Setiawan, Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD, Semarang: Erlangga, 2008.
- [5] E. G. Nawi, Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar, Bandung: ReFika Aditama, 1998.
- [6] A. Asroni, Kolom Fondasi dan Balok T Beton Bertulang, Surakarta: Graha Ilmu, 2010.
- [7] Badan Standarisasi Nasional, Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung, SNI-03-2847, Bandung: Departemen Pekerjaan Umum, 2002.
- [8] A. Asroni, Balok dan Pelat Beton Bertulang, Surakarta: Graha Ilmu, 2010.
- [9] Badan Standarisasi Nasional, Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG), Bandung: Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan, 1983.
- [10] W. Dewobroto, Komputer Rekayasa Struktur dengan SAP2000, Surabaya: Dapur Buku, 2013.
- [11] A. Wahono, "Perencanaan Struktur Beton Bertulang Dengan Menggunakan Software SAP 90 dan Staad Pro Dalam Kajian Struktur Portal Dua Dimensi," *Jurnal Ilmu-Ilmu Teknik*, p. 11, 2015.
- [12] Badan Standarisasi Nasional, Tata Cara Perhitungan Harga Satuan Pekerjaan Beton untuk Konstruksi Bangunan Gedung dan Perumahan, SNI-7394, Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum, 2008.

## PERENCANAAN BENDUNG UNTUK DAERAH IRIGASI SULU

### ABSTRAK

*Di desa Sulu Kecamatan Tatapaan Kabupaten Minahasa Selatan terdapat daerah irigasi yang sangat berpengaruh terhadap perekonomian daerah. Dalam 3 tahun terakhir sebagian besar dari daerah irigasi tidak lagi diolah oleh petani karena kebutuhan air untuk daerah irigasi sudah tidak mencukupi. Hal ini disebabkan oleh rusaknya bendung yang menjadi sumber pengambilan air untuk daerah irigasi tersebut. Tujuan penelitian ini adalah merencanakan bendung baru untuk daerah irigasi Sulu.*

*Langkah awal dalam penelitian ini adalah analisis hidrologi untuk menentukan debit banjir rencana. Hasil analisis debit banjir rencana selanjutnya digunakan untuk perencanaan konstruksi bendung yang meliputi perencanaan dimensi, mercu, kolam olakan, lantai muka, pintu pengambilan dan pintu pembilas. Setelah perencanaan konstruksi bendung, dilakukan kontrol stabilitas bendung terhadap guling, geser, eksentrisitas dan daya dukung tanah.*

*Berdasarkan hasil analisis dan perencanaan bendung diperoleh dimensi bendung dengan tinggi 2,5 m, lebar 64 m, tipe mercu bulat, kolam olakan tipe Vlugter dengan panjang 10 m, panjang lantai muka bendung 25 m, 2 pintu pembilas dengan ukuran masing-masing pintu (2,20m x 2,50m), dan 1 pintu pengambilan dengan ukuran (1,20m x 1,0m) yang terletak di sebelah kiri bendung. Pintu pembilas dan pintu pengambilan konstruksinya menggunakan pintu sorong dari kayu kelas II.*

*Kata kunci : Daerah Irigasi, Debit, Perencanaan Bendung*

### PENDAHULUAN

Bendung adalah suatu bangunan yang dibuat dari pasangan batu kali, bronjong atau beton, yang terletak melintang pada sebuah sungai yang tentu saja bangunan ini dapat digunakan pula untuk kepentingan lain selain irigasi, seperti untuk keperluan air minum, pembangkit listrik atau untuk pengendalian banjir. Menurut macamnya bendung dibagi dua, yaitu bendung tetap dan bendung sementara, bendung tetap adalah bangunan yang sebagian besar konstruksi terdiri dari pintu yang dapat digerakkan untuk mengatur ketinggian muka air sungai sedangkan bendung tidak tetap adalah bangunan yang dipergunakan untuk menaikkan muka air di sungai, sampai pada ketinggian yang diperlukan agar air dapat dialirkan ke saluran irigasi dan petak tersier.

Di desa Sulu Kecamatan Tatapaan Kabupaten Minahasa Selatan terdapat daerah irigasi yang sangat berpengaruh terhadap perekonomian daerah. Namun, sudah 3 tahun

terakhir ini sebagian besar dari daerah irigasi tersebut tidak lagi diolah oleh petani dikarenakan kebutuhan air untuk daerah irigasi sudah tidak mencukupi. Hal ini disebabkan oleh rusaknya bendung yang menjadi sumber pengambilan air untuk daerah irigasi tersebut.

Berdasarkan observasi yang dilakukan di lapangan, kondisi bendung yang ada masih berupa bendung yang terbuat dari bronjong yang dilengkapi dengan dua pintu penguras dan dua pintu pengambilan yang masih berfungsi namun sebagian besar dari tubuh bendung sudah mengalami kerusakan/kebocoran. Hal ini disebabkan karena struktur bendung yang belum permanen dan meningkatnya debit air di sungai.

Melihat permasalahan yang terjadi diatas dan kaitannya dengan kebutuhan air untuk irigasi yang sudah tidak mencukupi, maka dalam penelitian ini penulis akan mengkaji lebih lanjut lagi dengan judul penelitian "Perencanaan Bendung Untuk Daerah Irigasi Sulu".

## Perumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas dapat dilihat bahwa kebutuhan air untuk daerah irigasi Sulu sudah tidak tercukupi akibat dari rusaknya bendung yang ada, sehingga pada penelitian ini akan direncanakan bendung baru untuk daerah irigasi Sulu.

## Batasan Masalah

1. Lokasi studi adalah Daerah Aliran Sungai Nimanga.
2. Data curah hujan yang digunakan diambil dari stasiun hujan yang tersedia di DAS Nimanga minimal 10 tahun pengamatan.
3. Pada penelitian ini pembagian air ke area irigasi melalui saluran irigasi tidak akan dihitung.

## Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mendapatkan dimensi dari bendung, pintu pengambilan dan pintu penguras.

## Manfaat Penelitian

1. Dapat memberikan alternatif bagi pemerintah tentang teknik perencanaan suatu bendung.
2. Hasil kajian dapat dijadikan sebagai sarana pembandingan dalam perencanaan bendung untuk daerah irigasi Sulu maupun di tempat lain.

## LANDASAN TEORI

### Pengertian dan Fungsi Bendung

Bendung adalah suatu bangunan air dengan kelengkapan yang dibangun melintang sungai atau sudetan yang sengaja dibuat untuk meninggikan taraf muka air atau untuk mendapatkan tinggi terjun, sehingga air dapat disadap dan dialirkan secara gravitasi ke tempat yang membutuhkannya. (Mawardi dan Memed, 2002)

Bendung berfungsi antara lain untuk meninggikan taraf muka air, agar air sungai dapat disadap sesuai dengan kebutuhan dan untuk mengendalikan aliran, angkutan sedimen dan geometri sungai sehingga air dapat dimanfaatkan secara aman, efektif, efisien dan optimal. (Mawardi dan Memed, 2002)

## Klasifikasi Bendung

1. Bendung berdasarkan fungsinya dapat diklasifikasikan menjadi :
  - Bendung penyadap
  - Bendung pembagi banjir
  - Bendung penahan pasang
2. Berdasarkan tipe strukturnya bendung dibagi atas :
  - Bendung tetap,
  - Bendung gerak,
  - Bendung kombinasi,
  - Bendung kembang-kempis,
  - Bendung *bottom intake*.
3. Ditinjau dari segi sifatnya bendung dapat pula dibedakan :
  - Bendung permanen.
  - Bendung semi permanen.
  - Bendung darurat

## Perencanaan Konstruksi Bendung

### Perencanaan Hidraulis Bendung

#### Tinggi muka air banjir sebelum ada bendung

Perhitungan tinggi muka air banjir sebelum ada bendung dilakukan dengan cara coba-coba (*Trial and Error*) sebagai berikut :

1. Coba-coba beberapa nilai ketinggian elevasi muka air dari dasar sungai ( $h_i$ ).
2. Hitung luas penampang basah (A) dan keliling basahnya (P), untuk setiap nilai  $h$  pada langkah 1.
3. Hitung jari-jari hidrolis penampang dengan rumus :

$$R = \frac{A}{P} \quad (1)$$

4. Hitung besarnya kecepatan aliran dengan rumus :

$$\text{- Chezy : } V = c \cdot \sqrt{R \cdot S_0} \quad (2)$$

Nilai koefisien kecepatan (c) dihitung dengan rumus :

$$\text{- Bazin : } c = \frac{87}{1 + \sqrt{R}} \quad (3)$$

Dimana :

V = Kecepatan aliran (m/det)

C = Koefisien kecepatan (fungsi dari bentuk profil dan kekasarannya)

R = Jari-jari hidrolis (m)

$S_0$  = Kemiringan sungai rata-rata (m)

= Koefisien kekasaran (untuk sungai, harga dapat diambil antara 1,5 – 1,75)

5. Hitung debit ( $Q_{hitung}$ ) dengan rumus :

$$Q = A \cdot V \quad (4)$$

### Lebar Efektif Bendung

Lebar efektif bendung adalah lebar bendung yang bekerja secara efektif untuk melewati debit di sungai. Lebar efektif bendung akan dipengaruhi oleh kemungkinan adanya pilar-pilar dan pintu pembilas.

Berikut adalah persamaan untuk menentukan lebar efektif bendung :

$$B_{\text{eff}} = B - t - 0,2 b \quad (5)$$

Dimana :

$B_{\text{eff}}$  = Lebar efektif bendung (m)

$B$  = Lebar total bendung (m)

$t$  = Jumlah tebal pilar bendung (m)

$b$  = Jumlah lebar pintu pembilas (m)

### Elevasi Mercu Bendung

Elevasi mercu bendung ditentukan berdasarkan muka air rencana pada bangunan sadap. Tinggi bendung yang dimaksud adalah jarak dari lantai muka bendung sampai pada puncak bendung. Untuk menentukan elevasi mercu bendung ditinjau dari beberapa macam faktor, antara lain elevasi sawah tertinggi yang akan dialiri, tinggi air di sawah, kehilangan tekanan pada pemasukkan ke saluran-saluran, pada alat-alat ukur, pada bangunan-bangunan lain yang terdapat di saluran-saluran dan sebagainya. (Mawardi dan Memed, 2002)

### Tinggi muka air banjir sesudah ada bendung

Sampai saat ini belum ada ketentuan yang pasti mengenai tinggi muka air maksimum di atas mercu. Tapi dilihat dari segi keamanan stabilitas bendung, ukuran pintu-pintu, tinggi tanggul banjir dan sebagainya, maka dianjurkan tidak melebihi 4,5 meter. Rumus pengaliran yang digunakan untuk menghitung tinggi muka air di atas mercu tergantung dari tipe mercu yang direncanakan.

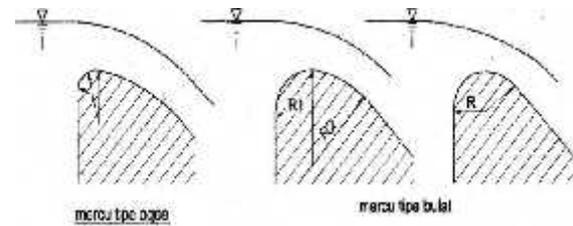
### Perencanaan mercu bendung

Di Indonesia pada umumnya digunakan dua tipe mercu untuk bendung pelimpah: tipe ogee dan tipe bulat (lihat Gambar 1). Kedua bentuk mercu tersebut dapat dipakai untuk konstruksi beton maupun pasangan batu atau kombinasi dari keduanya. (KP – 02, 2010)

### Mercu Bulat

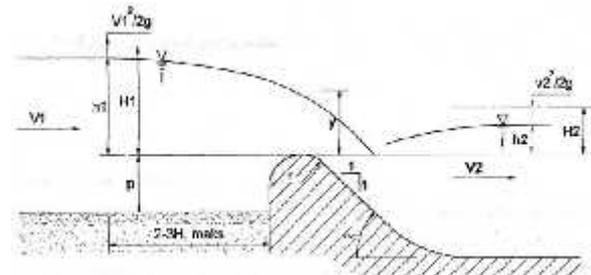
Bendung dengan mercu bulat (lihat Gambar 1) memiliki harga koefisien debit lebih tinggi (44%) dibandingkan dengan koefisien bendung ambang lebar. Pada

sungai, ini akan banyak memberikan keuntungan karena bangunan ini akan mengurangi tinggi muka air hulu selama banjir. (KP – 02, 2010)



Gambar 1. Bentuk mercu bendung

Tekanan pada mercu adalah fungsi perbandingan antara  $H_1$  dan  $r$  ( $H_1/r$ ). Untuk bendung dengan dua jari-jari ( $R_2$ ) (lihat gambar 1), jari-jari hilir akan digunakan untuk menentukan harga koefisien debit. Untuk menghindari bahaya kapitasi lokal, tekanan pada mercu bendung harus dibatasi sampai -4 m tekanan air jika mercu terbuat dari beton; untuk pasangan batu tekanan subatmosfir sebaiknya dibatasi sampai -1 tekanan air. (KP – 02, 2010)



Gambar 2. Bendung dengan mercu bulat

Rumus pengaliran diambil dari Bundschu sebagai berikut:

$$Q = m \cdot b \cdot d \sqrt{g \cdot d} \quad (6)$$

$$d = \frac{2}{3} H \quad (7)$$

$$H = h + k \quad (8)$$

Harga-harga  $k$  dan  $m$  dihitung dengan rumus Verwoerd :

$$K = \frac{4}{27} \cdot m^2 \cdot h^3 \left(\frac{1}{h}\right)^2 \quad (9)$$

$$m = 1,49 - 0,018 \left(5 - \frac{h}{r}\right)^2 \quad (10)$$

dimana :

$Q$  = Debit yang lewat di atas mercu ( $\text{m}^3/\text{det}$ )

$b$  = Lebar efektif bendung (m)

$h$  = Tinggi air di atas mercu (m)

$g$  = Percepatan gravitasi ( $\text{m}/\text{det}^2$ )

$m$  = Koefisien pengaliran

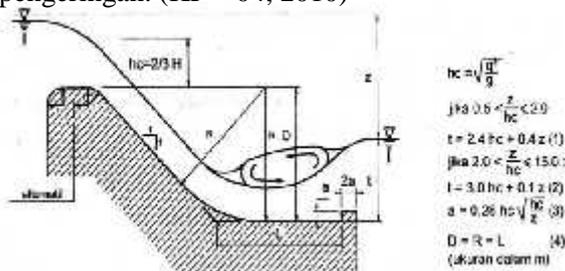
$p$  = Tinggi bendung (m)  
 $r$  = Jari-jari bulatan mercu (m)

Untuk menentukan harga  $r$ , dipakai cara Kregten (sebagai pendekatan) yaitu : dengan mengambil harga  $m = 1,34$  dan harga yang baik untuk  $H/r = 3,80$ . Setelah didapat harga  $d$  maka harga  $H$  didapat dan  $r$  didapat pula. Harga  $r$  sebaiknya dibulatkan keatas sampai mendapatkan ukuran yang sesuai.

### Kolam olakan Vlugter

Kolam olakan ini khusus dikembangkan untuk bangunan terjun di saluran irigasi. Batas-batas yang diberikan yaitu untuk  $z/hc$  0,5; 2,0 dan 15,0 dihubungkan dengan bilangan Froude 1,0; 2,8 dan 12,8. Bilangan-bilangan Froude itu diambil pada kadalaman  $z$  di bawah tinggi energi hulu, bukan pada lantai kolam seperti kolam loncat air.

Gambar 3. memberikan data-data yang diperlukan untuk perencanaan kolam olakan Vlugter. Kolam Vlugter bisa dipakai sampai beda tinggi energi  $z$  tidak lebih dari 4,5 meter atau dalam lantai ruang olak sampai mercu (D) tidak lebih dari 8 meter serta pertimbangan kondisi porositas tanah lokasi bendung dalam rangka pekerjaan pengeringan. (KP – 04, 2010)



Gambar 3. Kolam Olakan menurut Vlugter

### Tinjauan Gerusan di Hilir Bendung

Perhitungan ini bertujuan untuk menghitung berapa dalamnya gerusan yang dapat terjadi pada ujung kolam olakan. Penentuan dalamnya gerusan ini didasarkan pada rumus-rumus yang menggambarkan besarnya (dalamnya) penggerusan di hilir bendung akibat adanya aliran. Untuk menghitung kedalaman gerusan digunakan rumus-rumus sebagai berikut :

- Kennedy :  $m = 1,11 \cdot q^{0,61}$  (11)

- Lacey :  $m = 0,90 \cdot q^{2/3}$  (12)

dimana :

$m$  = dalamnya penggerusan (ft)

$q$  = debit aliran per satuan lebar (ft<sup>3</sup>/det)

### Lantai Muka Bendung

Lantai muka bendung adalah lantai yang berfungsi untuk mengurangi tekanan air ke atas pada bidang kontak antara pondasi bangunan dan dasar pondasi. Dalam menentukan panjang lantai muka, ada beberapa metode empiris yang sering digunakan yaitu :

#### 1. Metode Bligh

Dalam menentukan panjang lantai muka dengan metode Bligh menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$L_V + L_H = C_r \cdot H \quad (13)$$

dengan :

$L_V$  = Panjang vertikal bidang kontak (m)

$L_H$  = Panjang horisontal bidang kontak (m)

$C_r$  = Creep ratio

$H$  = Beda tekanan (m)

#### 2. Metode Lane

Dalam menentukan panjang lantai muka dengan metode Lane menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$L_T = L_V + \frac{1}{3} \cdot L_H \quad (14)$$

dengan :

$L_T$  = Panjang total (m)

$L_V$  = Panjang vertikal bidang kontak (m)

$L_H$  = Panjang horisontal bidang kontak (m)

### Perencanaan pintu pengambilan

Pada perencanaan bendung ini direncanakan intake kiri dengan pintu berlubang satu, lebar satu pintu tidak lebih dari 2,5 meter dan diletakkan di bagian hulu. Pengaliran melalui bawah pintu intake, sedangkan besarnya debit dapat diatur melalui tinggi bukaan pintu. Kapasitas pengambilan harus sekurang-kurangnya 120% dari kebutuhan pengambilan (*dimension requirement*), guna menambah fleksibilitas dan agar dapat memenuhi kebutuhan yang lebih tinggi selama umur proyek, sehingga rumus pengaliran yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$Q_n = \mu \cdot b \cdot h \sqrt{z} \quad (15)$$

Dimana :

$Q_n$  = Debit rencana (m<sup>3</sup>/det)

$\mu$  = Koefisien pengaliran

$h$  = Tinggi pintu intake (m)

$b$  = Lebar pintu intake (m)

$g$  = Gaya gravitasi = 9,81 m/det<sup>2</sup>

$z$  = Kehilangan tinggi energi pada bukaan antara 0,15 - 0,3 m

### Perencanaan pintu pembilas

Lantai pembilas merupakan kantong tempat mengendapnya bahan-bahan kasar di depan pembilas. Sedimen yang terkumpul dapat dibilas dengan jalan membuka pintu pembilas secara berkala guna menciptakan aliran terkonsentrasi tepat di depan pengambilan. Penurunan kecepatan aliran akan mengakibatkan menurunnya kapasitas angkutan sedimen, oleh karena itu kecepatan aliran tidak boleh berkurang. Untuk menambah kecepatan aliran maka dibuat kemiringan saluran yang memungkinkan untuk kemudahan dalam transport sedimen. Rumus pengaliran yang dipakai untuk pintu pembilas sama dengan pengaliran pada pintu pengambilan sebagai berikut :

$$Q_n = \mu \cdot b \cdot h \sqrt{z} \quad (16)$$

Dimana :

- $Q_n$  = Debit rencana ( $m^3/det$ )
- $\mu$  = Koefisien pengaliran
- $h$  = Tinggi pintu intake (m)
- $b$  = Lebar pintu intake (m)
- $g$  = Gaya gravitasi =  $9,81 m/det^2$
- $z$  = Kehilangan tinggi energi pada bukaan antara 0,15 - 0,3 m

## METODOLOGI PENELITIAN

### Lokasi Penelitian

Daerah irigasi Sulu terletak di Desa Sulu, Kecamatan Tatapaan Kabupaten Minahasa Selatan. Desa Sulu berjarak sekitar 10 km dari ibukota kabupaten Minahasa Selatan. Secara geografis daerah irigasi Sulu terletak pada  $01^{\circ}27,6' - 01^{\circ}28,5' LU$  dan  $124^{\circ}59' - 124^{\circ}61' BT$  dan memiliki luas sebesar 540 ha. Daerah irigasi Sulu terbentang di sepanjang desa Sulu sampai di desa Paslaten, dimana sumber air untuk areal irigasi memanfaatkan air dari sungai Nimanga, yang mempunyai luas daerah aliran sebesar  $263,25 km^2$ .

### Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode survey, dimana peneliti melakukan observasi dan survey di lokasi penelitian yaitu di daerah irigasi yang sudah kering dan juga di lokasi bendung.

Langkah-langkah dalam proses penelitian adalah sebagai berikut :

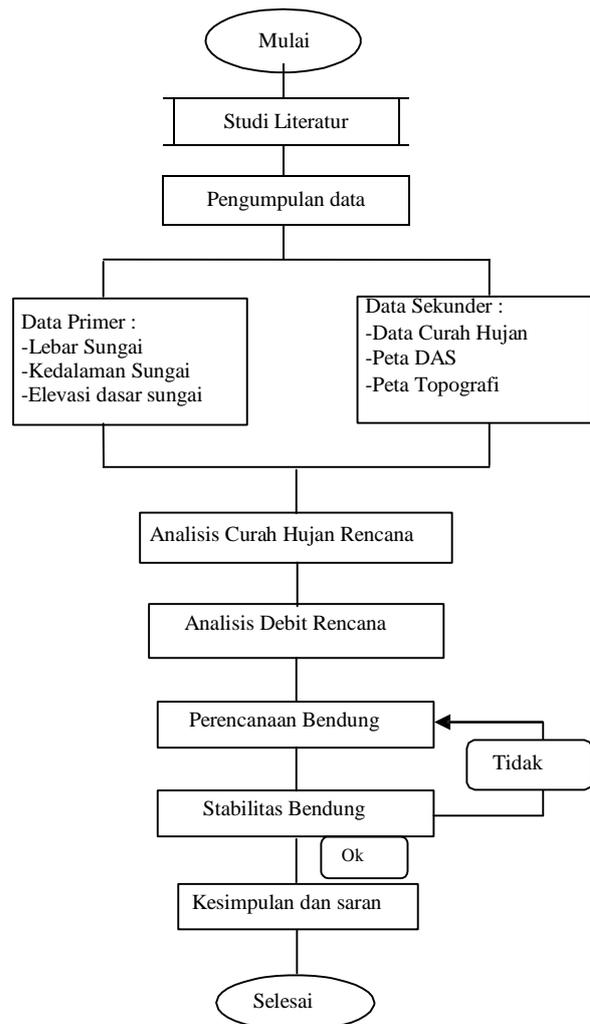
#### 1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mendapat pengetahuan dan landasan teori serta metode-metode yang akan digunakan dalam penulisan skripsi.

#### 2. Pengumpulan Data

Pengumpulan data-data yang diperlukan dalam penelitian ini, yaitu pengumpulan data primer yang diambil dari tempat penelitian dan pengumpulan data sekunder yang diambil dari instansi terkait. Adapun data-data yang diperlukan adalah :

- Data primer yang didapat langsung dari lapangan yaitu lebar sungai, kedalaman sungai, dan elevasi dasar sungai
- Data curah hujan harian maksimum selama 10 tahun yang diperoleh dari BMKG Kayuwatu dan BWS Sulawesi I.
- Peta DAS yang diambil dari BP DAS Tondano untuk mendapatkan luas daerah aliran sungai (DAS)
- Peta Topografi yang diambil dari BP DAS Tondano untuk mendapatkan data elevasi lokasi bendung



Gambar 4. Bagan Alir Penelitian

## ANALISIS DATA

Untuk mendapatkan debit banjir rencana pada setiap periode ulang tertentu, yang nantinya akan dipakai dalam perencanaan bendung maka dilakukan analisis hidrologi. Langkah awal dalam analisis hidrologi adalah analisis curah hujan rata-rata DAS. Analisis curah hujan rata-rata diambil dari empat pos hujan yang berada disekitar DAS Nimanga, yaitu pos Noongan, Pinaling, Tambala dan Tumatantang.

Setelah itu data curah hujan tersebut dianalisis menggunakan metode Poligon Thiessen untuk mendapatkan curah hujan rata-rata dari DAS. Diakukan perhitungan nilai-nilai parameter statistik untuk menentukan pola sebaran yang sesuai dengan pola sebaran curah hujan rata-rata DAS.

Berdasarkan hasil perhitungan parameter statistik diperoleh bahwa parameter statistik dari data tidak ada yang sesuai untuk distribusi normal, Log normal dan Gumbel, sehingga kemungkinan data yang ada mengikuti distribusi Log Pearson III. Namun mengingat perbedaan antara parameter statistik hasil hitungan dan nilai persyaratan tidak begitu besar, maka lebih meyakinkan dilakukan penggambaran pada kertas probabilitas dan diuji keselarasan distribusi menggunakan uji Smirnov-Kolmogorov.

Dari hasil uji keselarasan distribusi diperoleh bahwa metode Log Pearson III memberikan nilai  $\max$  (selisih peluang terbesar antara distribusi data dan teoritisnya) paling kecil yaitu 0,091. Sehingga curah hujan rencana untuk periode ulang 2, 5, 10, 25, 50, 100 tahun menggunakan hasil analisis curah hujan rencana dari distribusi Log Person III.

Analisis debit banjir rencana menggunakan 3 metode yaitu metode Der Weduwen, Melchior dan Haspers. Dari

ketiga metode yang dipilih, debit banjir yang akan digunakan adalah debit banjir dengan periode ulang 100 tahun ( $Q_{100}$ ) yang terbesar yaitu debit dari metode Melchior sebesar  $Q = 513 \text{ m}^3/\text{det}$ .

Perencanaan hidraulis bendung

- Kemiringan dasar sungai rata-rata sejauh 2 km dari lokasi bendung.

Dari peta diperoleh :

1. Elv. dasar sungai dilokasi bendung = 19 m
2. Elv. sungai sejauh 2 km ke hulu bendung = 28 m
3. Panjang sungai yang ditinjau ( $L$ ) = 2000 m
4. Panjang sungai teoritis =  $0,9L = 1800 \text{ m}$

Kemiringan sungai rata-rata ( $S_o$ ) :

$$S_o = \frac{H}{0,9L} = \frac{28-19}{0,9 \cdot 2000} = 0,0050$$

- Tinggi muka air banjir sebelum ada bendung

Perhitungan tinggi muka air banjir sebelum ada bendung dilakukan dengan cara coba-coba (*Trial and Error*) dapat dilihat pada Tabel 1. Dari tabel perhitungan tersebut diperoleh tinggi air banjir sebelum ada bendung ( $h$ ) = 2,01 m; menghasilkan debit banjir sebesar  $Q = 512,71 \text{ m}^3/\text{det}$   $Q_{\text{desain}} = 513 \text{ m}^3/\text{det}$ .

$$k = \frac{v^2}{2 \cdot g} = \frac{3,8643^2}{2 \cdot 9,81} = 0,76 \text{ m}$$

- Lebar Efektif Bendung

- Lebar bendung ( $B$ ) di sungai ditetapkan 64 meter sama dengan lebar dasar sungai.
- Lebar pintu pembilas diambil  $1/10 \times$  lebar bendung yaitu :

$$b = \frac{B}{10} = \frac{64}{10} = 6,4 \text{ m}$$

Sementara lebar minimum pintu pembilas,  $b = 2 \text{ m}$ .

Tabel 1. Analisis tinggi muka air banjir sebelum ada bendung

hi (m)	A (m <sup>2</sup> )	P (m)	R (m)	$S_o$	c	V (m/det)	Q (m <sup>3</sup> /det)
1	65	67,61	0,961	0,0050	33,0578	2,29205	148,98
1,75	115,063	70,31	1,637		38,6543	3,49657	402,32
1,90	125,210	70,85	1,767		39,4814	3,71129	464,69
2,01	132,680	71,25	1,862		40,0466	3,86429	512,71

Berdasarkan kedua harga b tersebut, maka direncanakan 2 buah pintu pembilas dengan lebar masing-masing pintu,  $b = 2,2$  m  
Tebal minimum pilar ( $t$ ) = 1 meter.

Direncanakan menggunakan 2 buah pilar dengan tebal masing-masing pilar,  $t = 1,3$  m  
Sehingga lebar efektif bendung :

$$B_{\text{eff}} = 64 - (2 \times 2,2) - (2 \times 1,3) = 57 \text{ m}$$

- Penetapan elevasi mercu dan tinggi mercu bendung

Penetapan elevasi mercu bendung ditentukan oleh beberapa faktor. Berdasarkan faktor-faktor tersebut diperoleh elevasi puncak mercu bendung = + 21,50 m, sedangkan elevasi dasar sungai di lokasi bendung = + 19,00 m. Jadi tinggi mercu :

$$P = (+21,50) - (+19,00) = 2,50 \text{ meter.}$$

- Tinggi muka air banjir sesudah ada bendung

Rumus pengaliran yang digunakan untuk menghitung tinggi muka air di atas mercu tergantung dari tipe mercu yang akan direncanakan. Tipe mercu yang akan direncanakan adalah mercu bulat. Dimana aliran dianggap sempurna dengan rumus pengaliran menggunakan Persamaan (6) sebagai berikut :

$$Q = 1,34 \cdot 57 \cdot d \sqrt{\frac{9,81 \cdot d}{2/3}}$$

$$d = \left( \frac{513}{1,34 \cdot 57 \cdot \sqrt{9,81}} \right)^{3/2} = 1,66 \text{ m}$$

$$d = \frac{2}{3} H \rightarrow H = \frac{3}{2} d = \frac{3}{2} \times 1,67 = 2,49 \text{ m}$$

$$\frac{H}{r} = 3,80 \rightarrow r = \frac{H}{3,80} = \frac{2,49}{3,80} = 0,66 \text{ m}$$

Dari kedua harga r di atas ditetapkan : jari-jari bulatan mercu,  $r = 2$  meter

Analisis tinggi air banjir di atas mercu menggunakan persamaan-persamaan sebagai berikut :

$$m = 1,49 - 0,018 \left( 5 - \frac{h}{r} \right)^2$$

Verwoerd :  $k = m \cdot h$  (

$$m = 1,49 - 0,018 \left( 5 - \frac{h}{r} \right)^2$$

Berdasarkan rumus-rumus di atas dengan tinggi mercu  $P = 2,5$  meter, dan jari-jari bulatan mercu  $r = 2$  meter, dihitung besarnya nilai  $Q$  untuk berbagai harga  $h$  sehingga mendapatkan nilai  $Q_{\text{hitung}}$   $Q_{\text{desain}}$  seperti pada Tabel 2. Dari tabel analisis tersebut diperoleh tinggi muka air banjir sesudah ada bendung ( $h$ ) = 2,64 m ; menghasilkan debit banjir sebesar  $Q = 515,897 \text{ m}^3/\text{det}$   $Q_{\text{desain}} = 513 \text{ m}^3/\text{det}$ .

- Kolam olakan

Kolam olakan yang direncanakan adalah kolam olakan tipe Vlugter

$$Z = (+ 24,27) - (+ 21,52) = 2,75 \text{ m}$$

$$H = h + k = 2,64 + 0,136$$

$$Z/H = 2,75 / 2,776 = 0,993$$

$$1/3 < Z/H < 4/3$$

$$1/3 < 0,993 < 4/3$$

$$D = R = 0,6 H + 1,4 Z$$

$$= 0,6 \cdot 2,776 + 1,4 \cdot 2,75 = 5,520 \text{ m}$$

$$a = 0,20 H \sqrt{H} = 0,20 \cdot 2,776 \sqrt{2,776} / 2,75 = 0,556 \text{ m}$$

---> Ditetapkan :  $D = R = 6,0 \text{ m}$

$$a = 1,0 \text{ m}$$

- Dalam penggerusan (*Cut Off*)

Analisis ini dimaksudkan untuk menentukan berapa dalam penggerusan yang dapat terjadi pada ujung ruang olakan. Analisis dataannya (11) penggerusan sebagai berikut :

- Kennedy :  $m = 1,11 \left( \frac{Q_d}{B_{\text{eff}}} \right)^{0,61}$

Tabel 2. Analisis tinggi muka air banjir sesudah ada bendung

H (m)	m	K (m)	H = h + k (m)	d (m)	Q (m <sup>3</sup> /det)
1	0,842	0,009	1,009	0,672	82,879
2	1,040	0,063	2,063	1,376	299,537
2,5	1,126	0,117	2,617	1,745	463,123
2,64	1,148	0,136	2,776	1,851	515,897

$$= 1,11 \left( \frac{513}{57} \frac{3,3^3}{3,3} \right)^{0,61}$$

$$= 18,18 \text{ ft} \quad 5,51 \text{ m}$$

- Lacey :  $m = 0,90 \left( \frac{Q_d}{B_{\text{eff}}} \right)^{2/3}$

$$= 0,90 \left( \frac{513}{57} \frac{3,3^3}{3,3} \right)^{2/3}$$

$$= 19,11 \text{ ft} \quad 5,79 \text{ m}$$

Dari analisis di atas diperoleh dalamnya penggerusan = 5,79 m, dihitung dari taraf muka air hilir = + 20,76 m. Jadi ujung pondasi ruang olakan minimal harus berada pada elevasi =  $\{(+20,76 - 5,79)\} = 14,97 \text{ m}$ .

• Panjang rantai muka bendung

1. Teori Bligh

Total panjang vertikal,  $L_v = 15,26 \text{ m}$   
 Total panjang horizontal,  $L_h = 16,33 \text{ m}$   
 Beda tinggi tekanan,  $H = 21,50 - 15,50 = 6,00 \text{ m}$   
 Panjang creep line,  $L_c = C \cdot H = 9,6,0 = 54 \text{ m}$   
 Panjang rantai muka,  $L_m = L_c - L_v - L_h$

$$= 54 - 15,26 - 16,33$$

$$= 22,41 \text{ m}$$

2. Lane

Panjang creep line,  
 $L_c = C \cdot H = 3,0 \cdot 6,0 = 18,00 \text{ m}$   
 Panjang rantai muka,  
 $L_m = L_c - L_v - \frac{1}{3} \cdot L_h$

$$= 18,00 - 15,26 - \frac{1}{3} \cdot 16,33$$

$$= -2,70 \text{ m}$$

(tidak dibutuhkan rantai muka)

Jadi panjang rantai muka ( $L_m$ ) minimum adalah 22,41 m (dari perhitungan cara Bligh). Sehingga direncanakan panjang rantai muka bendung,  $L_m = 25 \text{ m}$ .  
 Total creep line menjadi :

$$L_c = 15,26 + 16,33 + (3,04 + 3 + 3 \times 5,5 + 6 \times 0,6 + 4 \times 0,5 + 1,12 + 1,5)$$

$$= 62,35 \text{ m} > \text{creep line min}$$

$$= 54,00 \text{ m} \dots \text{OK}$$

**Pintu pengambilan**

Dari rencana jaringan irigasi, keseluruhan areal sawah terletak di sebelah kiri bendung dengan luas areal sawah yang akan dialiri 540 ha, dengan kebutuhan air normal  $a = 2,50 \text{ l/det/ha}$ .

Debit yang diperlukan untuk mengairi sawah dihitung dengan rumus :

$$Q = c \cdot a \cdot A$$

$$= 0,85 \cdot 2,50 \cdot 540$$

$$= 1,15 \text{ m}^3/\text{det}$$

Kapasitas debit yang diperlukan harus 120% dari debit pengaliran yaitu :

$$Q_n = 1,2 Q$$

$$= 1,2 \times 1,15$$

$$= 1,38 \text{ m}^3/\text{det}$$

• Analisis dimensi pintu pengambilan

Untuk menghitung dimensi pintu pengambilan digunakan persamaan (15) :

$$Q_n = \mu \cdot b \cdot h \sqrt{2 \cdot g \cdot z}$$

Berhubung debit yang dibutuhkan relatif kecil, maka pintu pengambilan direncanakan 1 buah. Kehilangan tekanan diperhitungkan  $z = 0,20$  dan lebar pintu diambil  $b = 1,20 \text{ m}$  dengan koefisien pengaliran  $\mu = 0,80$ . Sehingga tinggi pintu pengambilan :

$$h = \frac{Q_n}{\mu \cdot b \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot z}} = \frac{1,38}{0,8 \cdot 1,2 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,20}} = 0,726 \text{ m}$$

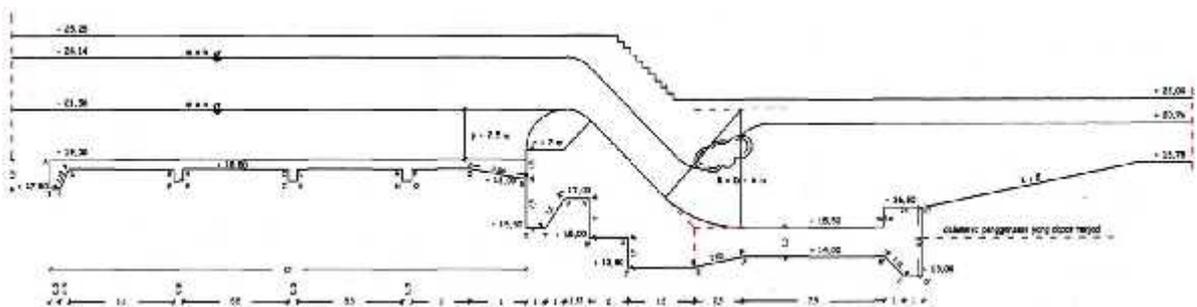
diambil tinggi pintu intake,  $h = 1,0 \text{ m}$

Kecepatan aliran di pintu pengambilan :

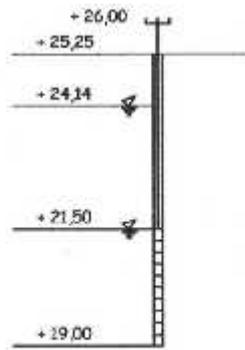
$$V = \frac{Q}{b \cdot h} = \frac{1,38}{1,20 \cdot 1,0} = 1,15 \text{ m/det}$$

**Pintu pembilas**

Ukuran pintu pembilas direncanakan seperti pada Gambar 6.



Gambar 5. Konstruksi Bendung



Gambar 6. Ukuran pintu pembilas

Tinggi pintu diambil sama dengan tinggi bendung = 2,5 m

Lebar pintu pembilas (L) = 2,20 m

Dalam coakan/takikan = 0,20 m

Lebar teoritis pintu pembilas

$$= 2,2 + 2 \left( \frac{1}{2} \times 0,20 \right) = 2,40 \text{ m}$$

Ukuran balok kayu 25x20 cm.

## PENUTUP

### Kesimpulan

Berdasarkan analisis dan perencanaan bendung untuk daerah irigasi Sulu diperoleh hasil sebagai berikut :

1. Bendung direncanakan dengan dimensi sebagai berikut : lebar bendung 64 m, tinggi bendung 2,5 m, tipe mercu bulat dengan jari-jari bulatan mercu 2 m, kolam olakan tipe Vlugter dengan panjang 10 m dan panjang lantai muka bendung 25 m.
2. Bendung ini menggunakan 2 buah pintu pembilas dengan dimensi dari masing-masing pintu (2,2m x 2,5m) dan 1 buah pintu pengambilan dengan dimensi pintu (1,2m x 1,0m), yang terletak di sebelah kiri bendung.
3. Pintu pengambilan dan pintu penguras konstruksinya menggunakan pintu sorong dari kayu kelas II.

### Saran

1. Pemeriksaan secara berkala perlu dilakukan agar kerusakan-kerusakan yang terjadi pada bendung dapat ditangani dengan cepat dan tepat.
2. Untuk memenuhi kebutuhan air areal irigasi di tahun-tahun yang akan datang, maka perlu dibuat peraturan mengenai pengoperasian pintu pengambilan dan pintu penguras agar dapat mencegah kerusakan yang terjadi pada pintu.

## DAFTAR PUSTAKA

Direktorat Jendral Departemen Pekerjaan Umum. 2010. *Standar Perencanaan Irigasi - Kriteria Perencanaan 02*. Badan Penerbit Departemen Pekerjaan Umum. Jakarta.

Direktorat Jendral Departemen Pekerjaan Umum. 2010. *Standar Perencanaan Irigasi - Kriteria Perencanaan 04*. Badan Penerbit Departemen Pekerjaan Umum. Jakarta.

Mawardi E., dan Moch. Memed.,. 2002. *Desain Hidraulik Bendung Tetap*. Alfabeta. Bandung.

# KAJIAN TENTANG GEOTEKNIK

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Seiring dengan banyaknya pengembangan lahan dan pembangunan di Kabupaten Ogan Komering Ilir, maka salah satu hal yang juga sangat penting untuk dilaksanakan adalah mempersiapkan lapisan tanah yang akan digunakan dalam pembangunan tersebut. Namun, banyak lokasi di Ogan Komering Ilir mempunyai kekuatan dan daya dukung tanah kurang baik.

Dalam pembangunan proyek konstruksi di atas tanah dengan karakteristik yang kurang baik, maka tanah tersebut perlu distabilisasi (diperbaiki) sehingga kekuatan dan daya dukung tanah tersebut menjadi lebih baik. Daya dukung tanah yang baik yang akan dipergunakan dalam pekerjaan teknik sipil memiliki beberapa kriteria, diantaranya haruslah mempunyai indeks plastisitas 17% (Hardiyatmo HC, 1992), karena tanah yang mempunyai indeks plastisitas 17% dapat mempengaruhi masalah teknis, sifat tanah ini mudah menyerap air dan menyebabkan kembang susut yang besar. Tanah dengan IP 17% dikategorikan sebagai tanah lempung (Hardiyatmo HC, 1992).

Salah satu cara menstabilisasi tanah tersebut adalah dengan menambahkan bahan pencampur kimiawi yaitu kapur dan abu ampas tebu, alasan dipilihnya unsur kapur dapat menurunkan nilai indeks plastisitas tanah (Ariyani Ninik, Yuni Ana, Ukrim Yogyakarta) dan penambahan abu ampas tebu sangat berpengaruh terhadap peningkatan nilai CBR, penurunan nilai pengembangan tanah (Zaika Yulvi, Munawir As'ad, Destamara A.A, 2015). Kapur dan abu ampas tebu sebagai bahan pencampur kimiawi yang digunakan adalah karena semen merupakan bahan yang terbilang relatif murah dan mudah didapatkan.

Dengan kedua hasil penelitian terdahulu ini penulis mencoba untuk merekayasa kedua unsur tambah ini yakni abu ampas tebu dan kapur dengan pengujian coba – coba (trial test) dengan melakukan penelitian di laboratorium fakultas teknik Universitas Palembang dengan maksud untuk mengetahui pengaruh yang terjadi pada tanah lempung, maka penulis mencoba untuk mengambil judul :

***Pengaruh Penambahan Abu Ampas Tebu dan Kapur Terhadap Karakteristik Tanah Lempung Ekspansif di Daerah Kabupaten Ogan Komering Ilir ( O.K.I )***

## **1.2 Rumusan dan Batasan Masalah**

Rumusan masalah yang akan menjadi fokus pada penelitian ini adalah: ingin mengetahui daya dukung tanah ( CBR ), kuat tekan bebas tanah dari rekayasa pencampuran kedua unsur kimiawi tersebut dengan membandingkan beberapa variasi persentase tanpa perendaman selama 24 jam

Batasan masalah pada penelitian ini adalah pada komposisi :

- a. Tanah lempung tanpa unsur tambah kapur dan abu ampas tebu terhadap berat kering tanah.
- b. Tanah lempung dengan penambahan abu ampas tebu 5 % dan kapur 5 % terhadap berat kering tanah.
- c. Tanah lempung dengan penambahan abu ampas tebu 10 % dan kapur 5 % terhadap berat kering tanah.
- d. Tanah lempung dengan penambahan abu ampas tebu 15 % dan kapur 5 % terhadap berat kering tanah.

## **1.3 Ruang Lingkup Penelitian**

Agar penelitian lebih terarah dan data yang diperoleh lebih akurat, serta tidak menyimpang dari permasalahan yang ada, penulis membatasi ruang lingkup pembahasannya yang meliputi:

1. Pengujian kadar air tanah lempung
2. Pengujian berat jenis tanah lempung
3. Pengujian berat isi tanah lempung
4. Pengujian batas cair tanah lempung
5. Pengujian batas plastisitas tanah lempung
6. Pengujian analisa saringan tanah
7. Pengujian pemadatan
8. Pengujian Kuat Tekan Bebas
9. Pengujian CBR.

## **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui pengaruh rekayasa penambahan Abu ampas tebu dan kapur sesuai dengan variasi prosentase tertentu tanpa pemeraman guna menstabilisasi tanah lempung

2. Untuk mengetahui seberapa besar pengaruh penambahan abu ampas tebu dan kapur terhadap kenaikan nilai CBR pada tanah plastisitas rendah.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Sedangkan manfaat penelitian ini diharapkan dapat menjadi :

1. Untuk memberikan sumbangan pengetahuan kepada masyarakat bahwa penggunaan pencampuran abu ampas tebu dan kapur dapat digunakan sebagai alternatif untuk menstabilkan tanah lempung.
2. Mengetahui bagaimana pengaruh dari pencampuran kedua unsur kimiawi tersebut pada tanah lempung terhadap daya dukung tanah.

### **1.6 Teknik Pengumpulan Data**

Data Primer :

Hasil pengujian di Laboratorium Fakultas Teknik Sipil Universitas Palembang

Data Sekunder

Data penelitian terdahulu :

( Ariyani ninik ,yuni ana, Ugrim Yogyakarta ) hasil risetnya mengatakan kapur dapat menurunkan nilai indeks plastisitas tanah.

penambahan abu ampas tebu sangat berpengaruh terhadap peningkatan nilai CBR, penurunan nilai pengembangan tanah ( zaika yulvi , munawir as'ad , Destamara A.A, 2015 ).

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Material yang digunakan**

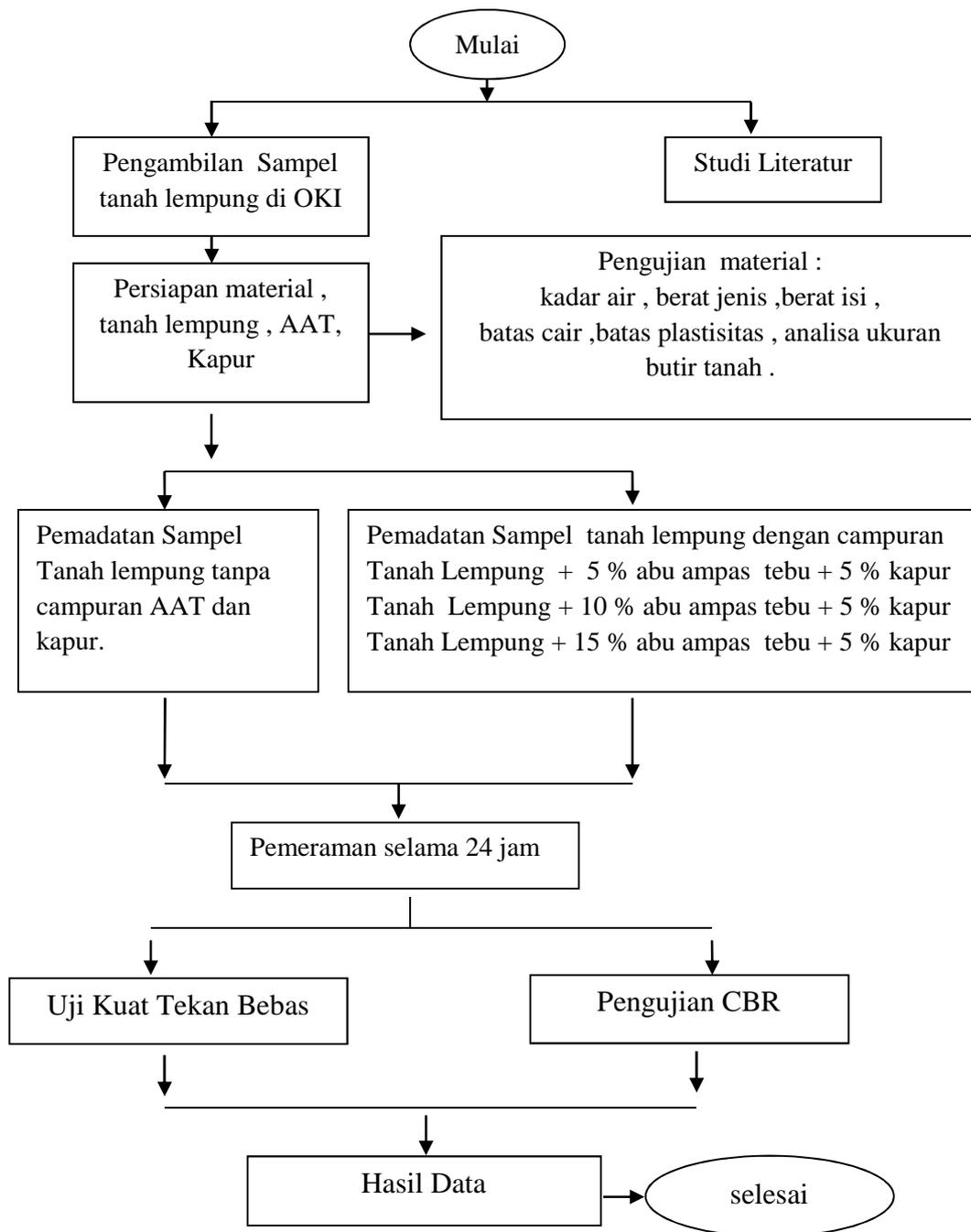
Material yang digunakan dalam penelitian mengenai Pengaruh Penambahan Abu Ampas Tebu dan Kapur Terhadap Karakteristik Tanah Lempung Ekspansif di Daerah Kabupaten Ogan Komering Ilir ( O.K.I ) yaitu :

1. Sampel tanah di ambil pada kedalaman 1 meter dari permukaan tanah lokasi di daerah Kayu Agung ( OKI ) Sumatera Selatan..
2. Abu ampas tebu dari cinta manis ( OKI ), Sumatera Selatan.
3. Kapur tohor dari daerah Palembang Sumatera Selatan.

#### **3.2 Rencana Kerja Penelitian**

Uraian rencana kerja dalam penelitian ini sebagai berikut :

1. Mulai / start
2. Mempersiapkan literatur penelitian – penelitian terdahulu
3. Selanjutnya pencarian lokasi pengambilan sampel tanah
4. Mempersiapkan material tanah lempung ,kapur dan abu ampas tebu
5. Melakukan beberapa pengujian material sampel tanah lempung
6. Membuat benda uji sampel tanah tanpa unsur kimiawi dengan pemadatan / uji proctor
7. Membuat benda uji sampel tanah dengan mencampur unsur kimiawi ( abu ampas tebu dan kapur ) dengan persentase campuran yang berbeda kemudian dipadatkan / uji proctor
8. Kemudian sampel diperam 24 jam setelah itu diuji kuat tekan bebas dilanjutkan dengan pengujian CBR
9. Data- data beberapa pengujian kemudian dianalisis sehingga didapat kesimpulan hasil penelitian ( selesai )



Gambar 1 . Bagan Alir Penelitian

### 3.3. Benda Uji Yang Di Butuhkan

Benda uji yang dibutuhkan selama penelitian :

1. 2 Sampel uji tanpa campuran abu ampas tebu dan kapur.
2. 2 Sampel uji dengan tanah lempung campuran abu ampas tebu 5% dan kapur 5 % dari berat kering tanah.

3. 2 Sampel uji dengan tanah lempung campuran abu ampas tebu 10 % dan kapur 5 % dari berat kering tanah.
4. 2 Sampel uji dengan tanah lempung campuran abu ampas tebu 15 % dan kapur 5 % dari berat kering tanah

Jumlah sampel uji yang dibutuhkan sebanyak 8 benda uji

### **3.4. Pengujian Material di Laboratorium**

#### **3.4.1. Pemeriksaan Sifat-Sifat Fisik Tanah**

- 1. Pemeriksaan Kadar Air**
- 2. Pemeriksaan Berat Jenis**
- 3. Pemeriksaan Berat Isi**
- 4. Pemeriksaan Batas Cair**
- 5. Pemeriksaan Batas Plastis**
- 6. Pemeriksaan Batas Susut**
- 7. Pemeriksaan Analisa Saringan**

#### **3.4.2. Pengujian Sifat Mekanis Tanah**

- 1. Pengujian Kuat Tekan Bebas**
- 2. Pengujian Pemadatan ( Kompaksi ) Standar**
- 3. Pengujian Pemadatan ( Kompaksi ) Standar**

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Hasil Pengujian

Hasil Pengujian Indeks Properties Tanah Asli

Pada pengujian Indeks Properties tanah ini dimaksudkan untuk mengidentifikasi sampel tanah lempung ekspansif atau tidak. Dari data-data yang didapat dari pengujian tersebut dapat disimpulkan jenis tanah sampel yang ada.

Hasil pengujian Indeks Properties tanah asli yang dilakukan, antara lain dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil uji sifat fisik dan mekanisme tanah asli

No	Data Pengamatan	Nilai
1	Kadar Air Awal (w)	6,30(%)
2	Batas Cair (LL)	68,38(%)
3	Batas Plastis (PL)	29,28(%)
4	Indeks Plastis (IP)	39,10(%)
5	Specific Gravity (GS)	2,413
6	Butiran lolos saringan No. 200	96,99(%)
	a. Lempung Tak Organik dengan plastisitas tinggi	CH
	b. Lanau	-
	c. Pasir	3,34(%)
	d. Kerikil	0(%)

##### 4.1.1. Pengujian Utama

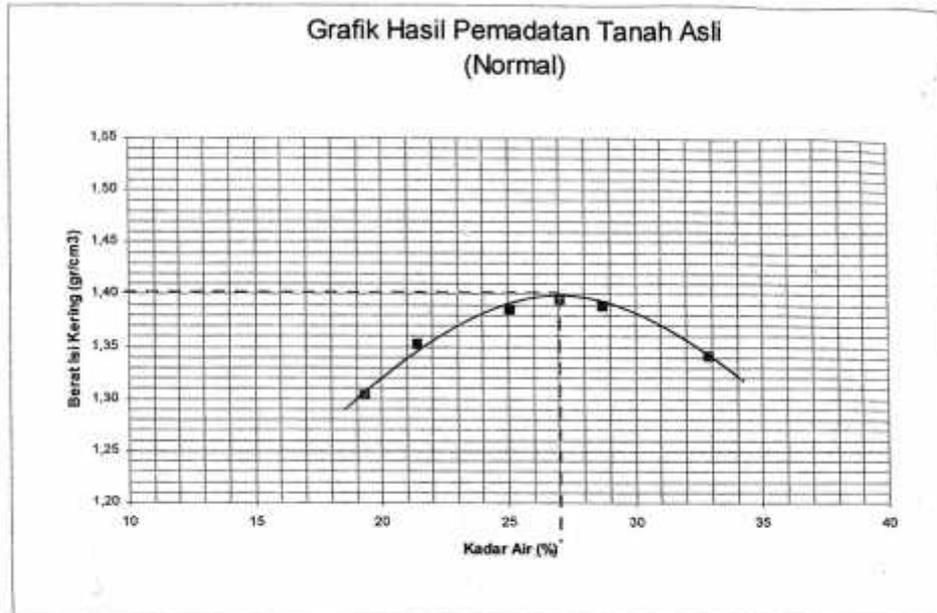
Berbagai variasi campuran tanah dengan kapur dan abu ampas tebu mempunyai perilaku yang berbeda, tergantung persentase variasi campurannya. Dalam penelitian ini variasi persentase penambahan bahan yang digunakan adalah 5% Abu ampas tebu + 5 % Kapur , 10 % Abu ampas tebu + 5 % Kapur , 15 % Abu ampas tebu + 5 % Kapur .

Pengujian yang dilakukan terhadap campuran tanah dengan abu ampas tebu dan kapur terdiri dari uji sifat- sifat fisik dan mekanis tanah .

Hasil uji sifat fisik dan mekanis tanah dilihat dalam bentuk tabel dan selengkapnya akan dijelaskan dalam lampiran dan grafik berikut ini.

a. Hasil Pemadatan Proctor dapat dilihat pada Gambar 4.1

Pembuatan sampel untuk pengujian selanjutnya berdasarkan  $\rho_{d maks}$  yaitu 1,40 gr/cm<sup>3</sup> dengan air optimum ( $w_{opt}$ ) = 27,00 %



Gambar 4.1 Hubungan kontrol kepadatan kering dengan kadar air

b. Perilaku properties tanah terhadap penambahan Abu ampas tebu dan kapur

Prilaku properties tanah oleh penambahan Abu ampas tebu dan kapur dilakukan pada uji gravitasi khusus, uji gradasi butiran, uji batas-batas *atterberg* tanah.

### 1. Kadar Air ( *Water Content* )

Merupakan perbandingan berat air yang terkandung dalam tanah dengan berat kering tanah dinyatakan dalam persen. Berdasarkan hasil pengujian didapat kadar air asli sebesar 6,3 %.

### *Specific Gravity* (GS)

*Specific Gravity* merupakan perbandingan berat suatu bahan terhadap berat air pada temperatur 25° C. Hasil uji *Specific Gravity* tanah lempung dan penambahan Abu Ampas Tebu dan Kapur dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 .Nilai *Specific Gravity* (GS) Campuran Tanah dengan Abu Ampas Tebu dan Kapur

No	Jenis Tanah + % Abu ampas tebu dan kapur	Berat Jenis (GS)
1	Lempung + 0 % Abu ampas tebu dan 0 % kapur	2,413
2	Lempung + 5 % Abu ampas tebu dan 5 % kapur	2,424
3	Lempung + 10 % Abu ampas tebu dan 5 % kapur	2,448
4	Lempung + 15 % Abu ampas tebu dan 5 % kapur	2,360

## 2. Gradasi Butiran

Hasil uji gradasi butiran dengan penambahan Abu ampas tebu dan kapur ditampilkan pada tabel 4.3

Tabel 4.3 Hasil uji gradasi butiran tanah

No	Jenis Tanah + % AAT dan % Kapur	Fraksi Halus (ukuran < 0,075 mm)	Fraksi Halus (ukuran > 0,075 mm)
1	L + 0 % AAT + 0 % K	98,64 %	1,36 %
2	L + 5 % AAT + 5% K	98,00 %	2,00 %
3	L + 10 % AAT + 5% K	97,84%	2,16 %
4	L +15 % AAT + 5% K	97,64%	2,36 %

L= Tanah Lempung ; AAT = Abu ampas tebu ; K = Kapur

## 3. Batas-Batas Atterberg (Batas-Batas Konsistensi Tanah)

Hasil pengujian *Atterberg* berupa batas cair, batas plastis dan indeks plastisitas setelah penambahan bahan kimiawi dapat dilihat pada Tabel 4.4

Tabel 4.4 Nilai Batas-batas Atterberg ( Batas Konsistensi )

No	Jenis Tanah + % AAT dan % Kapur	Batas Atterberg		
		Batas cair (%)	Batas plastis (%)	Indeks Plastisitas (%)
1	L + 0 % AAT + 0 % K	67,78	29,28	38,50
2	L + 5 % AAT + 5% K	66,70	28,79	37,91
3	L + 10 % AAT + 5% K	64,07	27,12	36,95
4	L +15 % AAT + 5% K	58,62	25,49	33,12

L= Tanah Lempung ; AAT = Abu ampas tebu ; K = Kapur

## 4. Uji CBR (*California Bearing Ratio*)

Pengujian ini dilakukan pada 2 kondisi yaitu CBR dengan perendaman (*Soaked*) dan tanpa perendaman (*Unsoaked*). Ada 4 variasi campuran yang dilakukan pada uji CBR Laboratorium, antara lain yaitu :

- Tanah Lempung tanpa penambahan Abu ampas tebu dan kapur
- Tanah Lempung dengan penambahan 5 % Abu ampas tebu dan 5 % kapur dari berat tanah lempung

- c. Tanah Lempung dengan penambahan 10 % Abu ampas tebu dan 5 % kapur dari berat tanah lempung
- d. Tanah Lempung dengan penambahan 15 % Abu ampas tebu dan 5 % kapur dari berat tanah lempung

Data-data perhitungan dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 4.5 Data Nilai CBR Perendaman (*Soaked*) 4 hari dan pengembangan (*Swelling*)

No	Jenis Tanah + % AAT & Kapur	Nilai CBR (%)		Swelling Potential (%)
		Perendaman 4 hari		
		Atas		
		2,5 mm	5,0 mm	
1	L + 0 % AAT + 0 % K	0,193	3,720	1,64
2	L + 5 % AAT + 5 % K	4,049	5,661	1,02
3	L + 10 % AAT + 5 % K	6,665	6,814	0,61
4	L + 15 % AAT + 5 % K	5,297	5,749	0,08

L= Tanah Lempung ; AAT = Abu ampas tebu ; K = Kapur

Tabel 4.6 Data Nilai CBR Tanpa Perendaman

No	Jenis Tanah + % AAT dan kapur	Nilai CBR (%)		Swelling Potential (%)
		Atas		
		2,5 mm	5,0 mm	
1	L + 0 % AAT + 0 % K	3,050	4,260	-
2	L + 5 % AAT + 5% K	5,920	7,003	-
3	L + 10 % AAT + 5% K	7,159	8,044	-
4	L + 15 % AAT + 5% K	5,502	5,100	-

L= Tanah Lempung ; AAT = Abu ampas tebu ; K = Kapur

### 5. Uji Tekan Bebas (*Unconfined Compression Test*)

Hasil Uji Tekan Bebas dengan variasi persentase dapat dilihat pada Tabel 4.7 berikut ini :

Tabel 4.7 Hasil Uji Kuat Tekan Bebas Kondisi Kering

No	Jenis Tanah + % AAT+ % Kapur	Qu (kg/cm <sup>2</sup> )
1	L + 0 % AAT + 0 % K	5,14
2	L + 5 % AAT + 5 % K	6,02
3	L + 10 % AAT + 5 % K	7,44
5	L +15 % AAT + 5 % K	6,10

L= Tanah Lempung ; AAT = Abu ampas tebu ; K = Kapur

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 1.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan di laboratorium pada tanah lempung ekspansif dengan tanah lempung ekspansif campuran sebesar 5 % Abu ampas tebu dan 5 % kapur dari berat tanah lempung ; 10 % Abu ampas tebu dan 5 % kapur dari berat tanah lempung ; 15 % Abu ampas tebu dan 5 % kapur dari berat tanah lempung , maka dapat disimpulkan terjadinya peningkatan, sebagai berikut :

1. Dari hasil uji tanah Lempung didapat nilai berat isi kering maksimum ( $\rho_d$ ) = 1,40 gr/cm<sup>3</sup> ; Kadar air optimum ( $W_{opt}$ ) = 27% ; LL = 68,38% ; PL = 29,28%, SL = 7,77% dan PI = 39,10%, mengandung fraksi halus 96,66%, dengan gravitas khusus ( $G_s$ ) = 2,41. Menurut *Unified Soil Classification System*, termasuk kelompok CH, sedangkan menurut *American Association of State Highway and Transportation Official (AASHTO)* tanah tersebut kelompok A-7-6.
2. Hasil uji batas *konsistensi* (batas atterberg) campuran tanah dengan penambahan Abu ampas tebu dan kapur persentase dibandingkan tanah lempung menunjukkan batas cair (LL) mengalami penurunan dan batas plastis (PL) cenderung tetap, maka Indeks Plastisitasnya (IP) menurun.
3. Penambahan Abu ampas tebu dan kapur pada tanah lempung menyebabkan perubahan gradasi butiran yaitu persentase fraksi halus dan fraksi kasar akan bertambah.
4. Penambahan Abu ampas tebu dan kapur untuk CBR perendaman (*soaked*) 4 hari pada tanah asli akan memperbaiki sifat mekanis tanah, yaitu menyelimuti butiran dan bekerja efektif sehingga kekuatannya meningkat dan pengembangannya (*swelling*) menurun. Untuk CBR tanpa perendaman (*unsoaked*) dengan penambahan Abu ampas tebu dan kapur, nilai CBR cenderung meningkat, dan mencapai titik puncak peningkatan pada penambahan sebesar 10 %, tetapi pada penambahan 15 % cenderung mengalami penurunan.
5. Dengan penambahan persentase 5 % sampai dengan 10 % uji tekan bebas cenderung meningkat kekuatannya, hal ini dikarenakan campuran akan bekerja efektif.

## 1.2. Saran

Dari hasil kesimpulan yang telah diuraikan diatas, maka penulis mempunyai beberapa saran yang dapat dikemukakan pada pengujian stabilisasi tanah dengan material Abu ampas tebu dan kapur adalah sebagai berikut ini :

1. Pada penelitian selanjutnya stabilisasi dengan penambahan Abu ampas tebu dan kapur perlu diperhatikan penambahan masa perawatan dan persentase penambahan campuran
2. Dari hasil penelitian disarankan bahwa Abu ampas tebu dan kapur yang dapat dimanfaatkan secara optimum untuk perkuatan dan stabilisasi tanah lempung ekspansif adalah dengan kadar penambahan Optimum 10 % sehingga dapat menghasilkan perkuatan tanah dasar.

## DAFTAR PUSTAKA

- (1) Bowles, J.E. 1989. *Sifat – sifat Fisis dan Geoteknis Tanah*. Edisi Kedua . Penerbit Erlangga : Jakarta.
- ( 2) Das. Braja M. 1985 . *Mekanika Tanah* , Jilid I . Penerbit Erlangga : Jakarta
- ( 3) Harry Cristiady Hardiyatmo . 1996. *Mekanika Tanah I* . Penerbit Universitas Gajah Mada : Yogyakarta.
- (4) Uddin, J., 2009. Pengaruh Variasi Waktu Pemeraman Terhadap Daya Dukung Lapisan Tanah Kapur (Soil Lime) pada Sub Base Course. Skripsi Sarjana Universitas Lampung. Bandar Lampung
- (5) Ariyani, N. 2001. “Potensi Abu Sekam Padi dan Kapur sebagai Campuran dalam Usaha Peningkatan Karakteristik Mekanis Tanah Tras dari Dusun Serapan - Tesis. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada

Nama : YOSI MARIZAN  
NIM : 192710021  
Mata Kuliah : Rekayasa Sistem Dan Manajemen / 20192-MTS271203-0  
Dosen : Dr. Ir. Achmad Syarifudin, M.Eng, PU-SDA  
Tugas : Tugas UTS

Pertanyaan : *Buatlah Rumusan empiris dari beberapa kajian SDA, Jalan dan transportasi, Geoteknik, Struktur dan bahan. dan jelaskan variabel terkait dengan kajian saudara tersebut*

---

## PERHITUNGAN LENTUR PADA BALOK PERSEGI

### DASAR TEORI

Balok merupakan elemen struktur yang menanggung beban layan dalam arah transversal yang menyebabkan terjadinya momen lentur dan gaya geser di sepanjang bentangnya.

Untuk perhitungan perencanaan bangunan gedung dipakai beberapa metode, antara lain:

#### Metode Elastis

Apabila akibat beban kerja pada keadaan elastic, tegangan tekan beton maksimum pada serat tepi yang tertekan mencapai tegangan tekan beton dan tegangan tarik baja yang diizinkan berbanding lurus. Berdasarkan SNI 2847:2013 menetapkan regangan tekan beton maksimum ketika hancur adalah 0,003.

#### Metode Ultimate

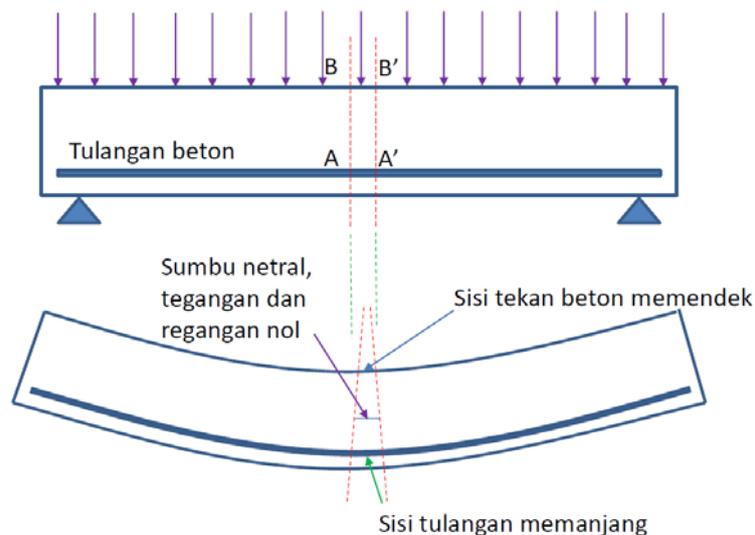
Pada saat mendekati beban batas, hubungan tegangan regangan beton tidak berbentuk garis lurus, melainkan berbentuk kurva. Dengan dicapainya kekuatan, terjadi redistribusi beban yang dipikul oleh beton dan tulangan, dengan tulangan menahan bagian yang terbesar.

Beban batas pada saat elemen beton bertulang tersebut mengalami keruntuhan terdiri dari beban yang dipikul tulangan sampai mencapai tegangan lelehnya ditambah dengan beban yang dipikul beton ketika regangan telah mencapai kekuatan batas sebesar 0,85  $f_c'$ .

Perhitungan kekuatan lentur penampang beton bertulang menggunakan asumsi- asumsi dasar sebagai berikut:

- Bentuk penampang melintang tetap berupa bidang datar, baik sebelum maupun sesudah terjadi lenturan. Hal ini berarti berlakunya hukum Bernoulli dimana besarnya tegangan yang terjadi di setiap titik pada penampang balok sebanding dengan jarak titik tinjau terhadap garis netral, dengan anggapan adanya kesatuan antara beton dengan baja tulangan secara monolit dan tidak terjadi slip.
- Diagram hubungan tegangan-regangan baja tulangan telah diketahui secara pasti melalui hasil uji tarik baja yang valid. Pada umumnya perilaku baja tulangan yang diperhitungkan hanya sampai saat dicapainya tegangan leleh, hal ini dikarenakan setelah fase leleh baja akan mengalami strain hardening, dimana peningkatan tegangan disertai dengan terjadinya deformasi yang sangat besar.

- Perilaku material beton yang sesungguhnya saat menerima tegangan tekan dapat diketahui secara nyata baik dalam hal besaran maupun distribusinya, yang dapat digambarkan dalam bentuk diagram tegangan-regangan beton dengan mengacu hasil-hasil penelitian yang telah diakui secara luas.
- Beton hanya efektif menahan tegangan tekan, sehingga kekuatan beton tidak diperhitungkan pada bagian penampang yang menerima tegangan tarik
- Regangan pada beton berbanding lurus terhadap jaraknya ke sumbu netral penampang
- Modulus Elastisitas baja,  $E_s = 200.000 \text{ MPa}$ , dan tegangan yang timbul pada tulangan baja dalam daerah elastis sama dengan nilai regangan dikalikan dengan  $E_s$  ( $s = e \cdot E_s$ )
- Penampang datar akan tetap datar setelah terjadi lentur
- Kuat tarik dari beton diabaikan
- Kada kondisi keruntuhan regangan maksimum yang terjadi pada serat tekan beton terluar, besarnya adalah sama dengan  $\epsilon_{cu} = 0,003$
- Untuk perhitungan kuat rencana, bentuk dari distribusi tegangan tekan beton diasumsikan berupa persegi empat, sesuai dengan asumsi dalam SNI 2847:2013 pasal 10.2



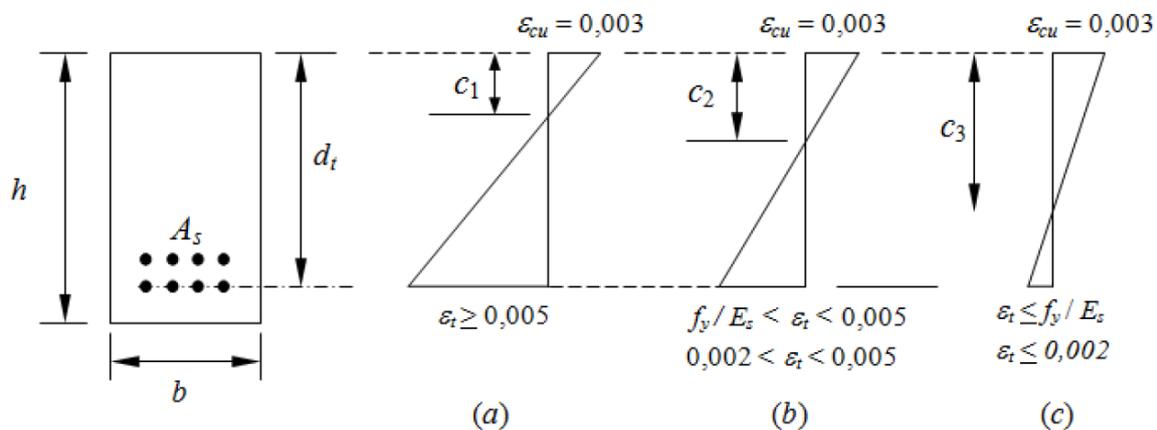
Ketentuan mengenai perencanaan beton bertulang biasa maupun beton prategang dalam SNI 2847:2013 pasal 10.3, didasarkan pada konsep regangan yang terjadi pada penampang beton dan tulangan baja.

Secara umum ada 3 (tiga) macam jenis penampang yang dapat didefinisikan :

1. Kondisi regangan seimbang (***balanced strain condition***)
2. Penampang dominasi tekan (***compression controlled section***)
3. Penampang dominan tarik (***tension controlled section***)

Penampang lain yang berada di antara penampang dominan tekan dan dominan tarik, dinamakan berada pada daerah transisi. Di samping itu ditambahkan pula bahwa regangan tarik,  $e_t$ , pada kuat nominal di daerah transisi, tidak boleh kurang dari 0,004 untuk setiap komponen struktur lentur tanpa beban aksial, ataupun bila ada beban aksial tidak melebihi  $0,10 \cdot f/c \cdot A_g$ . Dengan  $A_g$  adalah luas gross penampang beton.

- **Kondisi regangan seimbang (*balanced strain condition*)**, terjadi pada suatu penampang ketika tulangan baja tarik mencapai regangan luluh,  $\epsilon_y$ , sedangkan beton yang tertekan mencapai regangan ultimitnya sebesar 0,003. Penampang demikian dinamakan sebagai penampang seimbang
- **Penampang dominasi tekan (*compression controlled section*)**, terjadi apabila regangan tulangan tarik terluar sama atau kurang dari batasan regangan yang diijinkan, sedangkan beton mencapai regangan ultimit sebesar 0,003. Untuk tulangan baja dengan  $f_y = 400$  MPa, maka batasan regangan tekan tersebut adalah sama dengan 0,002. Kasus ini pada umumnya terjadi pada komponen struktur kolom yang menerima gaya aksial dan momen lentur
- **Penampang dominan tarik (*tension controlled section*)**, terjadi ketika regangan baja mencapai 0,005 atau lebih, yang terjadi ketika beton mencapai regangan ultimitnya sebesar 0,003



(a) Penampang Dominan Tarik; (b) Penampang Daerah Transisi; (c) Penampang Dominan Tekan

### Distribusi Tegangan Tekan Ekuivalen

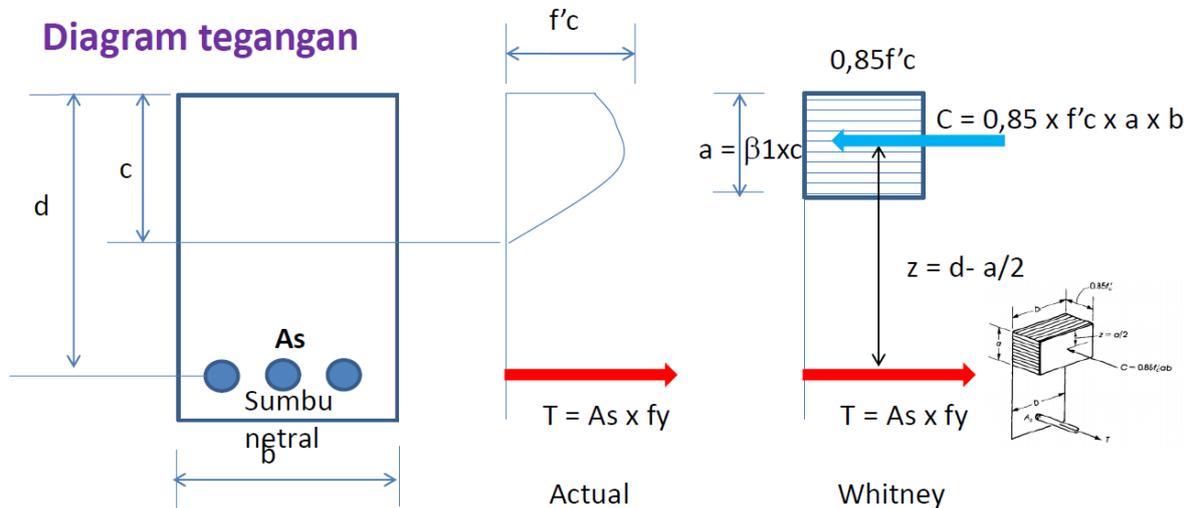
- Hubungan antara tegangan dan regangan tekan beton dapat dihitung berdasarkan kurva pengujian tegangan-regangan, atau dapat diasumsikan berbentuk persegi empat, trapesium, parabola atau bentuk lain yang dapat merepresentasikan kuat lentur dari penampang.
- Guna penyederhanaan dalam analisis maupun disain penampang beton, maka dalam SNI 2847:2013 pasal 10.2.7, diijinkan untuk menggunakan distribusi blok tegangan ekuivalen berbentuk **empat persegi panjang** untuk perhitungan kuat lentur nominal.
- Model blok tegangan tersebut sering juga dikenal sebagai **Blok Tegangan Whitney**, yang pertama kali diperkenalkan dalam jurnal ACI di tahun 1937.

Blok tegangan tersebut didefinisikan sebagai berikut :

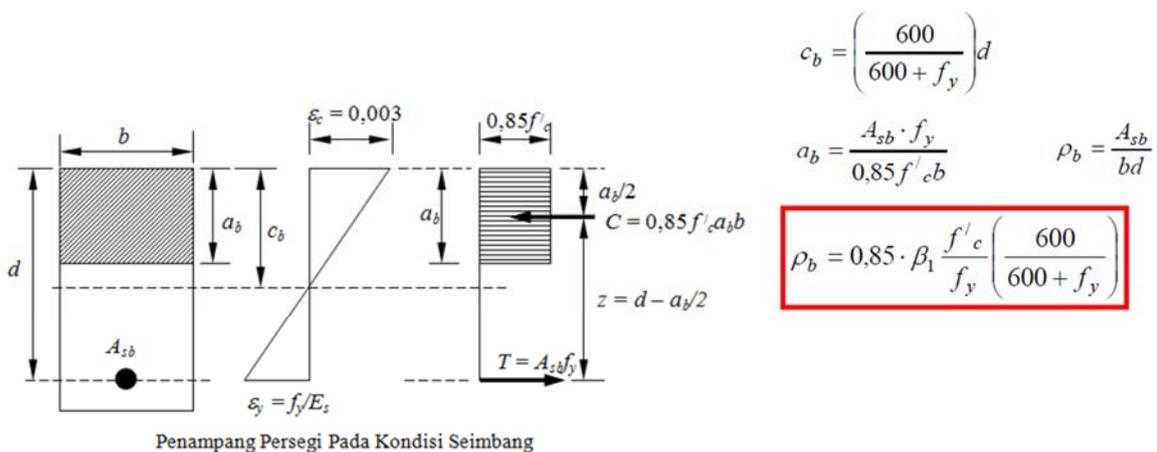
- tegangan tekan merata sebesar  **$0,85 \cdot f_c$**  diasumsikan terdistribusi meratapada daerah tekan ekuivalen yang dibatasi oleh tepi penampang dan suatu garis lurus yang sejajar sumbu netral sejarak  **$a = \beta_1 \cdot c$**  dari serat beton yang mengalami regangan tekan maksimum
- Jarak  **$c$**  dari serat dengan regangan tekan maksimum ke sumbu netral harus diukur tegak lurus sumbu tersebut
- Faktor  **$\beta_1$**  dapat dihitung sebagai berikut :
  - untuk kuat tekan beton,  **$f_c < 28$  Mpa**  $\beta_1 = 0,85$

-untuk  $28 \text{ MPa} < f_c < 56 \text{ MPa}$

-Untuk  $f_c$  lebih dari 56 Mpa  $\beta_1 = 0,65$



## 1. PENAMPANG PERSEGI BERTULANG TUNGGAL (KONDISI BALANCED)



$$C = T$$

$$0,85 f'_c a_b b = A_{sb} f_y$$

Parameter  $\rho$  disebut sebagai rasio tulangan tarik yang besarnya sama dengan Luas Tulangan dibagi luas penampang beton efektif

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

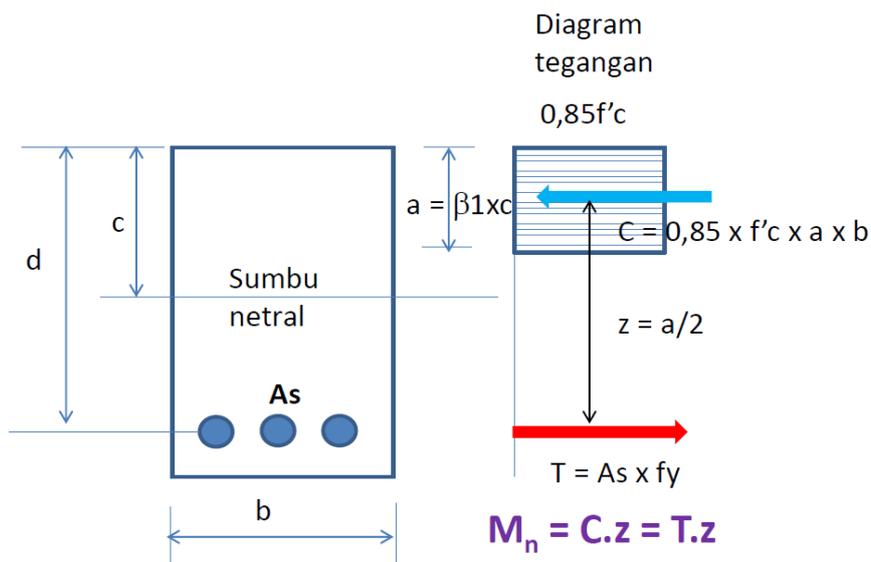
### 1. Keadaan regangan seimbang

Suatu keadaan yang sangat menentukan dalam analisis dan perencanaan beton bertulang dengan metode kekuatan dan kemampuan layan adalah keadaan regangan berimbang (balance). Dalam kondisi berimbang serat tekan ekstrim pada beton dan serat tarik pada baja Tulangan secara bersamaan mencapai regangan maksimum ( $\epsilon_{cu}$  pada beton dan  $\epsilon_y$  pada baja tulangan).

2. Balok bertulangan lemah (Under-reinforced)

Dalam kondisi penampang terpasang baja tulangan kurang dari rasio tulangan maksimum (0,75 kali rasio tulangan dalam keadaan seimbang), baja tulangan akan lebih dulu mencapai tegangan leleh  $f_y$  sebelum beton mencapai kekuatannya maksimumnya. Gaya tarik baja tulangan tetap sebesar  $A_s \cdot f_y$  meskipun besaran beban terus bertambah. Bertambahnya beban yang bekerja menyebabkan terjadinya perpanjangan (deformasi) elastis yang semakin besar hingga mengakibatkan retak akibat lentur pada serat beton yang terkena tarik dan bertambahnya regangan secara non-linear pada beton yang menerima gaya tekan hingga berakibat terjadinya keruntuhan tarik

**KAPASITAS MOMEN NOMINAL PENAMPANG BALOK**



Dalam desain balok beton harus dipenuhi  $M_u \leq \phi M_n$

Momen nominal dari suatu balok persegi bertulangan tunggal dihitung dengan mengalikan nilai  $C$  atau  $T$  pada Gambar dengan jarak antara kedua gaya

$$M_n = C \cdot z = T \cdot z$$

$$M_n = 0,85 f'_c a \cdot b \left( d - \frac{a}{2} \right) = A_s \cdot f_y \left( d - \frac{a}{2} \right)$$

$$\rho = A_s / bd$$

$$a = A_s \cdot f_y / (0,85 f'_c \cdot b)$$

$$\phi M_n = \phi A_s \cdot f_y \left( d - \frac{A_s \cdot f_y}{1,7 f'_c \cdot b} \right) = \phi \rho f_y b d^2 \left( 1 - \frac{\rho \cdot f_y}{1,7 \cdot f'_c} \right)$$

$$\phi M_n = R_u b d^2$$

dengan  $R_u = \phi \rho f_y \left( 1 - \frac{\rho \cdot f_y}{1,7 \cdot f'_c} \right)$

Saat  $\rho$  maks, maka  $R_u$  akan maks, nilai  $R_u$  maks dapat ditabelkan

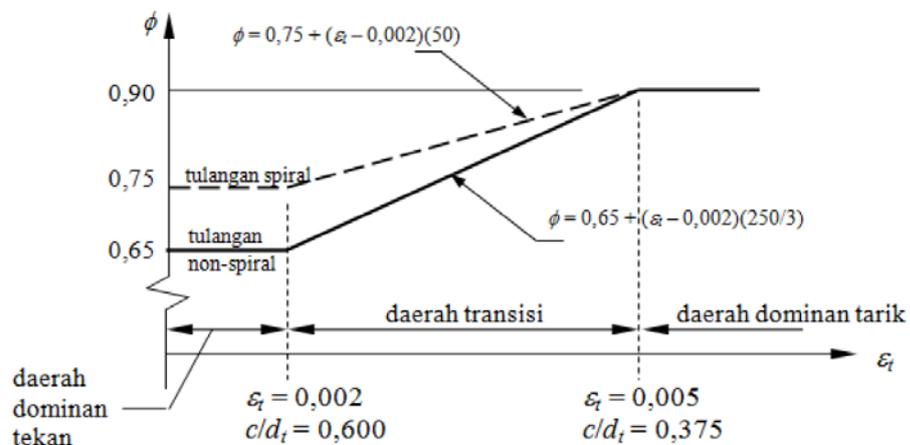
## FAKTOR REDUKSI KEKUATAN

Kuat nominal dari suatu komponen struktur (baik yang memikul lentur, beban aksial, geser maupun puntir), yang dihitung berdasarkan kaidah –kaidah yang berlaku, harus dikalikan dengan suatu faktor reduksi yang besarnya kurang dari satu.

Dalam SNI 2847:2013, pasal 9.3 digunakan beberapa nilai faktor reduksi kekuatan,  $\phi$ , sebagai berikut :

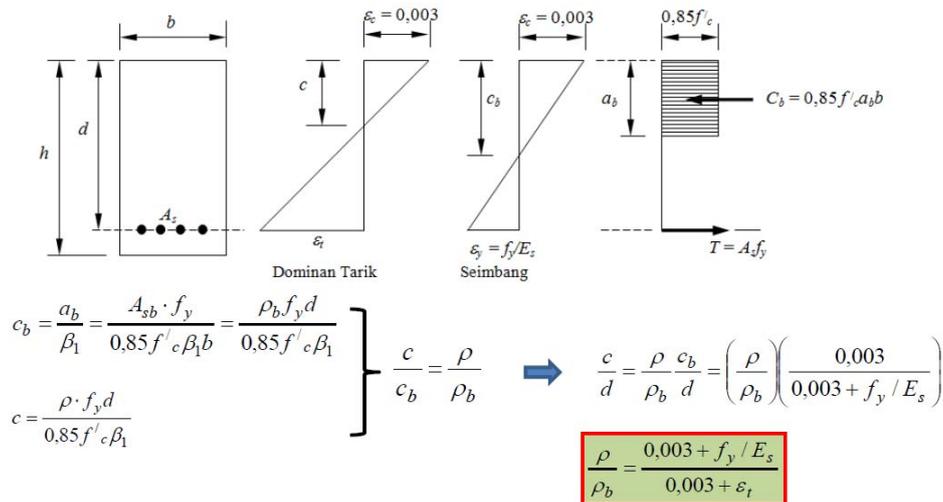
- Untuk penampang dominan Tarik  $\phi = 0,90$
- Untuk penampang dominan tekan
  - dengan tulangan spiral  $\phi = 0,75$
  - tulangan non-spiral  $\phi = 0,65$
- Untuk geser dan puntir  $\phi = 0,75$
- Untuk tumpu pada beton  $\phi = 0,65$

### Faktor Reduksi Kekuatan



**Untuk komponen struktur lentur beton bertulang, nilai  $\epsilon_t$  harus sama atau lebih besar daripada 0,004 !**

- SNI 2847:2013 pasal 10.3.5 mensyaratkan bahwa nilai  $\epsilon_t$  pada kondisi kuat lentur nominal harus lebih besar atau sama dengan 0,004.



- Dalam hal desain balok atau komponen struktur lentur lainnya, batas maksimum rasio tulangan dapat diambil dengan menggunakan nilai  $\epsilon_t = 0,005$ , sehingga :

$$\rho_{maks} = \left( \frac{0,003 + f_y / E_s}{0,008} \right) \rho_b$$

Jika tulangan baja mempunyai  $f_y = 400$  MPa dan  $E_s = 200.000$  MPa, maka  $\rho_{maks} = 0,625\rho_b$

**Tabel** Nilai  $\rho$  dan  $R_u (=M_u/bd^2)$  Untuk Penampang Dominan Tarik,  $\epsilon_t = 0,005$  dan  $\phi = 0,90$

$f'_c$ (MPa)	$f_y$ (MPa)	$\beta_1$	$\rho_b$	$\rho_{maks}$	$R_u$ (MPa)
20	400	0,850	0,0217	0,01355	4,100
25	400	0,850	0,0271	0,01693	5,125
30	400	0,836	0,0320	0,01998	6,065
35	400	0,800	0,0357	0,02231	6,828
40	400	0,764	0,0390	0,02436	7,513

- Apabila momen terfaktor yang bekerja pada balok cukup kecil, sehingga luas tulangan baja yang dibutuhkan juga sedikit, maka dalam peraturan (SNI 2847:2013 pasal 10.5.1) disyaratkan perlunya memberikan tulangan minimum, yang besarnya dapat dihitung sebagai berikut :

$$A_{s \min} = \frac{\sqrt{f'_c}}{4 f_y} b_w \cdot d \geq \frac{1,4}{f_y} b_w \cdot d$$

- Atau dapat dinyatakan dalam bentuk rasio tulangan :

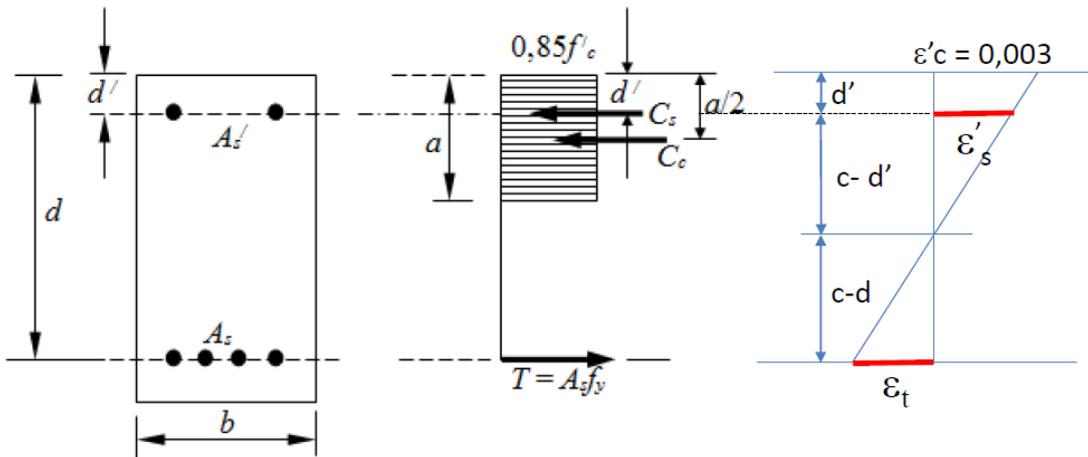
$$\rho_{\min} = \frac{\sqrt{f'_c}}{4f_y} \geq \frac{1,4}{f_y}$$

### Syarat jarak tulangan :

- Tulangan baja pada suatu penampang balok beton harus diletakkan sedemikian rupa sehingga **jarak antar poros tulangan dalam satu lapis tidak kurang dari ukuran diameter tulangan, (>db), namun juga tidak kurang dari 25 mm.**
- Jika kebutuhan tulangan cukup banyak dan harus disusun lebih dari satu lapis, maka **jarak antar lapis tulangan dalam arah vertikal tidak boleh kurang dari 25 mm.** Persyaratan jarak antar tulangan ini tercantum pada ACI 318M-11 pasal 7.6.
- Selain itu lebar penampang balok juga harus memperhatikan tentang **ketentuan tebal selimut beton** yang disyaratkan. Dalam pasal 7.7 ACI 318M-11 disebutkan bahwa untuk penampang balok dan kolom dianjurkan mengambil selimut beton setebal **40 mm**, sedangkan untuk pelat yang tidak berhubungan langsung dengan tanah dapat diambil selimut beton setebal **20 mm**.

## 2. ANALISIS DAN DESAIN BALOK BERTULANGAN RANGKAP

- Terkadang suatu penampang balok beton bertulang didesain memiliki **tulangan tarik** dan **tulangan tekan**.
- Balok demikian dinamakan sebagai **balok bertulangan rangkap**
- Penggunaan tulangan tekan sering dijumpai pada daerah momen negatif dari suatu balok menerus atau di tengah bentang dari suatu balok yang cukup panjang dan memikul beban yang berat serta persyaratan kontrol lendutan cukup ketat.
- Atau juga sering dijumpai pada kasus di mana tinggi balok sangat dibatasi untuk mengakomodasi kebutuhan arsitektural.

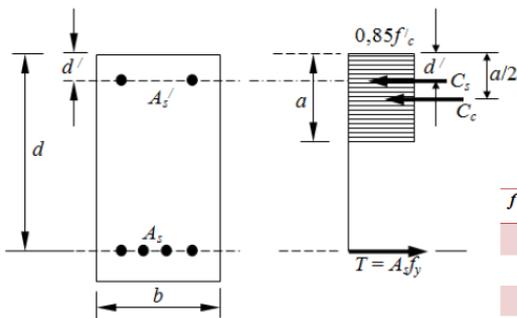


- Analisis terhadap penampang balok bertulangan rangkap didasarkan pada **kondisi tulangan tekan**
- Ada dua macam kasus yang akan dijumpai, yaitu apakah **tulangan tekan sudah luluh** atau **belum luluh**

**Syarat tulangan tekan sudah luluh :**

$$\rho - \rho' \geq 0,85 \beta_1 \left( \frac{f'_c}{f_y} \right) \left( \frac{d'}{d} \right) \left( \frac{600}{600 - f_y} \right)$$

$K$

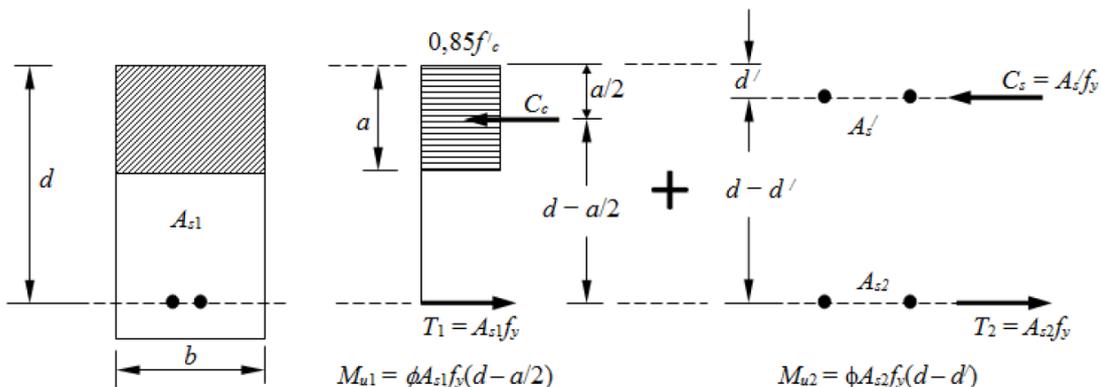


Tul. tekan luluh jika  $\epsilon'_s > \epsilon_y$

Tabel Nilai K Untuk Pemeriksaan Keluluhan Tulangan Tekan

$f'_c$ (MPa)	$f_y$ (MPa)	$\beta_1$	$K$	$K$ (dengan $d' = 50$ mm)
20	400	0,850	0,1084( $d/d$ )	5,4188/ $d$
25	400	0,850	0,1355( $d/d$ )	6,7734/ $d$
30	400	0,836	0,1599( $d/d$ )	7,9943/ $d$
35	400	0,800	0,1785( $d/d$ )	8,9250/ $d$
40	400	0,764	0,1948( $d/d$ )	9,7410/ $d$

**(tulangan tekan sudah luluh)**



$$A_{s1} = A_s - A_s'$$

$$a = \frac{A_{s1} \cdot f_y}{0,85 f'_c \cdot b}$$

**(tulangan tekan sudah luluh)**

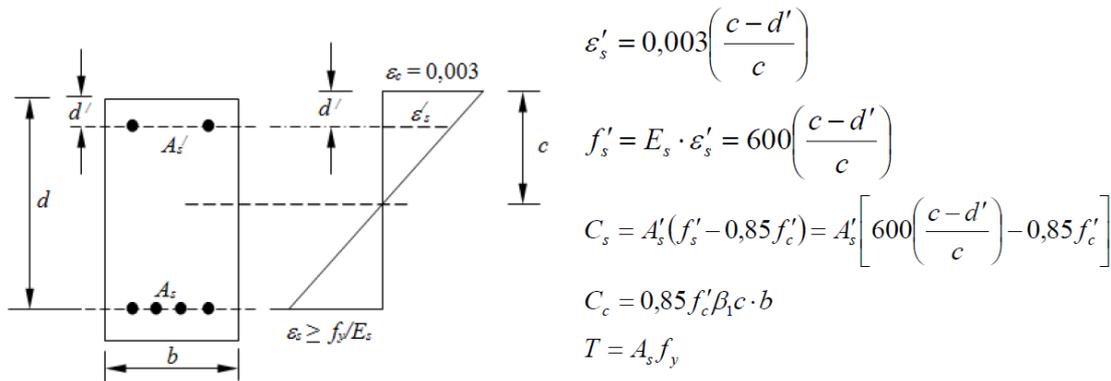
$$\phi M_n = M_{u1} + M_{u2} = \phi \left[ (A_s - A_s') f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) + A_s' f_y (d - d') \right]$$

**Syarat batasan rasio tulangan :**

$$\rho - \rho' < \rho_{maks} = \rho_b \left( \frac{0,003 + f_y/E_s}{0,008} \right)$$

**(tulangan tekan belum luluh)**

$$\rho - \rho' < 0,85 \beta_1 \left( \frac{f_c'}{f_y} \right) \left( \frac{d'}{d} \right) \left( \frac{600}{600 - f_y} \right) \quad \rightarrow \quad \text{tulangan tekan belum luluh}$$



**(tulangan tekan belum luluh)**

$$T = C_s + C_c$$

$$A_s f_y = 0,85 f_c' \beta_1 c \cdot b + A_s' \left[ 600 \left( \frac{c - d'}{c} \right) - 0,85 f_c' \right]$$

$$(0,85 f_c' \beta_1 b) c^2 + [(600 A_s') - (0,85 f_c' A_s') - A_s f_y] c - 600 A_s' d' = 0$$

Nilai c diperoleh dari :

$$c = \frac{-K_2 \pm \sqrt{K_2^2 - 4K_1 K_3}}{2K_1} \quad \rightarrow \quad a = \beta_1 c$$

$$K_1 = 0,85 f_c' \beta_1 b$$

$$K_2 = A_s' (600 - 0,85 f_c') - A_s f_y$$

$$K_3 = -600 A_s' d'$$

$$\phi M_n = \phi \left[ C_c \left( d - \frac{a}{2} \right) + C_s (d - d') \right]$$

**(tulangan tekan belum luluh)**

Batasan untuk rasio tulangan ditentukan oleh :

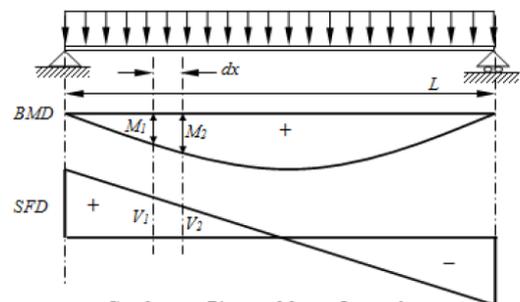
$$\left( \rho - \rho' \frac{f'_s}{f_y} \right) < \rho_{maks}$$

Dengan  $\rho_{maks}$  adalah rasio tulangan maksimum untuk penampang bertulangan tunggal.

$$\rho_{maks} = \left( \frac{0,003 + f_y / E_s}{0,008} \right) \rho_b$$

## Teori Dasar Geser

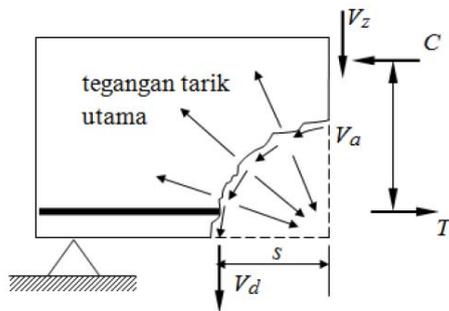
- Sebuah balok diberi beban seperti pada Gambar
- Akan muncul momen lentur dan gaya geser secara bersamaan
- Untuk dapat memikul beban tersebut dengan aman, maka balok harus didesain terhadap kedua macam gaya tersebut (yaitu momen lentur dan geser)
- Desain terhadap lentur dilakukan terlebih dahulu untuk menentukan ukuran penampang balok serta kebutuhan tulangan utama atau tulangan lenturnya
- Selanjutnya balok harus didesain untuk mencukupi memikul gaya geser yang terjadi
- Apabila tulangan geser tidak dipasang, maka kegagalan geser akan terjadi
- Balok harus didesain sedemikian rupa sehingga kegagalan akibat geser tidak terjadi sebelum kegagalan lentur terjadi.



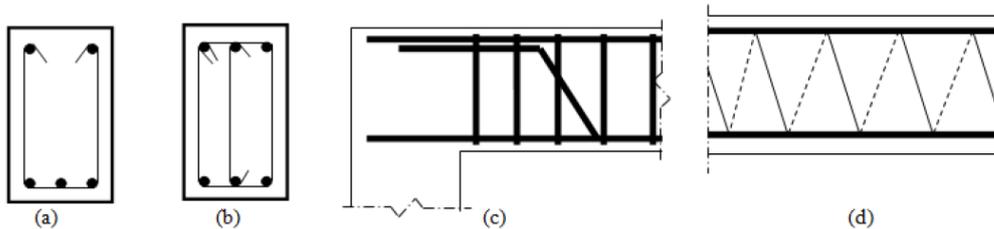
Gambar Diagram Momen Lentur dan Gaya Lintang Pada Balok Tertumpu



## Mekanisme Tahanan Geser Beton Bertulang



1. Tahanan geser beton yang didasarkan pada penampang yang masih utuh, belum retak,  $V_c$
2. Transfer geser antarmuka,  $V_a$ , akibat lekatan agregat sepanjang bidang retak,  $V_a$
3. Tahanan yang diberikan oleh tulangan memanjang,  $V_d$



(a) Sengkang Terbuka Dengan Dua Kaki, (b) Sengkang Tertutup Dengan Tiga Kaki,  
(c) Gabungan Sengkang Vertikal dan Tulangan Miring, (d) Spiral

Kuat geser nominal,  $V_n$  dari balok beton bertulang dengan tulangan geser, sebagian disumbangkan oleh kuat geser beton,  $V_c$ , dan sebagian disumbangkan oleh kuat geser tulangan geser,  $V_s$ .

$$V_n = V_c + V_s$$

Gaya geser  $V_u$  yang dihasilkan oleh beban terfaktor harus kurang atau sama dengan kuat geser nominal dikalikan dengan faktor reduksi  $\phi$ , atau :

$$V_u < \phi V_n = \phi (V_c + V_s)$$

Dengan besarnya faktor reduksi,  $\phi$ , untuk geser adalah sebesar **0,75**.

Nilai kuat geser yang disumbangkan oleh beton dapat diperhitungkan sebagai berikut :

$$1. V_c = 0,17\lambda\sqrt{f'_c}b_w d$$

Jika pengaruh gaya aksial diperhitungkan, maka :

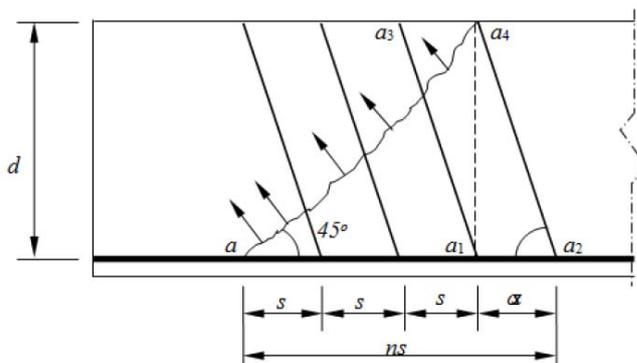
$$2. \text{untuk gaya aksial tekan, } V_c = \left( 0,16\lambda\sqrt{f'_c} + 17\rho_w \frac{V_u d}{M_m} \right) b_w d \leq 0,29\lambda\sqrt{f'_c}b_w d \sqrt{1 + \frac{0,29N_u}{A_g}}$$

$$\text{dengan } M_m = M_u - N_u \left( \frac{4h - d}{8} \right); \text{ sedangkan } \rho_w = \frac{A_s}{b_w \cdot d}$$

Nilai  $V_u d / M_u$  boleh lebih besar dari 1,0. Dengan  $A_g$  adalah luas penampang gross balok.

Suku  $N_u / A_g$  dinyatakan dalam satuan MPa

$$3. \text{ untuk gaya aksial tarik, } V_c = 0,17 \left( 1 + \frac{0,29N_u}{A_g} \right) \lambda \sqrt{f'_c} b_w d$$



Perhitungan Nilai  $V_c$  Dengan Analogi Rangka Batang

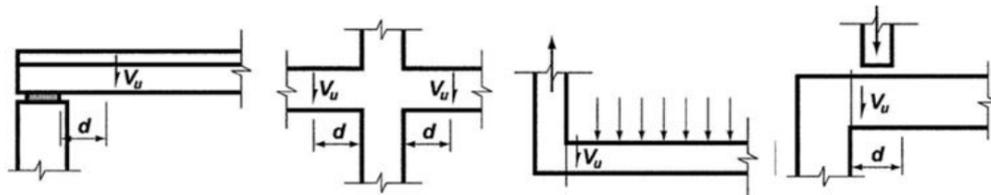
$$V_s = \frac{A_v f_{yt} d}{s} (\sin \alpha + \cos \alpha)$$

Untuk sengkang vertikal, maka nilai  $\alpha = 90^\circ$ , sehingga :

$$V_s = \frac{A_v f_{yt} d}{s} \quad \text{atau} \quad s = \frac{A_v f_{yt} d}{V_s}$$

## Penampang Kritis Untuk Geser

ACI 318M-11 pasal 11.1.3.1 mengizinkan untuk mengambil penampang kritis guna perhitungan kuat geser nominal **pada jarak  $d$  dari muka tumpuan**



## Tulangan Geser Minimum

Suatu komponen struktur lentur (prategang atau non prategang), harus disediakan tulangan geser minimum,  $A_{vmin}$ , apabila  $V_u$  melebihi  $0,5\phi V_c$ ,

$$A_{vmin} = 0,062\sqrt{f'_c} \left( \frac{b_w s}{f_{yt}} \right) \geq \frac{0,35b_w s}{f_{yt}}$$

## Jarak Maksimum Tulangan Geser

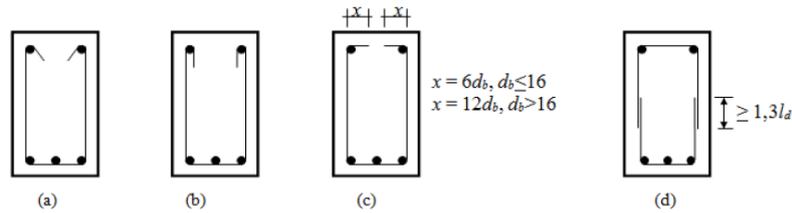
1. Jika  $V_s \leq 0,33\sqrt{f'_c} b_w d$   
 $s_{maks} < d/2$  atau 600 mm
2. Jika  $0,33\sqrt{f'_c} b_w d < V_s \leq 0,66\sqrt{f'_c} b_w d$   
 $s_{maks} < d/4$  atau 300 mm
3. Jika  $V_s > 0,66\sqrt{f'_c} b_w d$ ,

maka ukuran penampang **harus diperbesar**

Selain itu jarak tulangan maksimum juga harus diperiksa terhadap syarat luas tulangan geser minimum

$$s_{maks} = \frac{A_v f_{yt}}{0,35b_w} \geq \frac{A_v f_{yt}}{0,062\sqrt{f'_c} b_w}$$

## Pengangkuruan Senggang

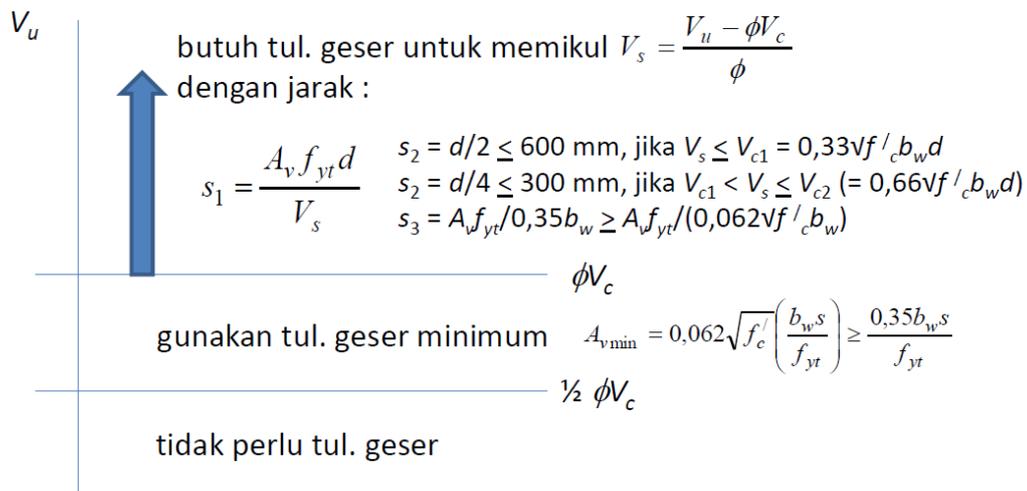


(a) Kait 135°, (b) Kait 180°, (c) Kait 90°, (d) Senggang U Ganda

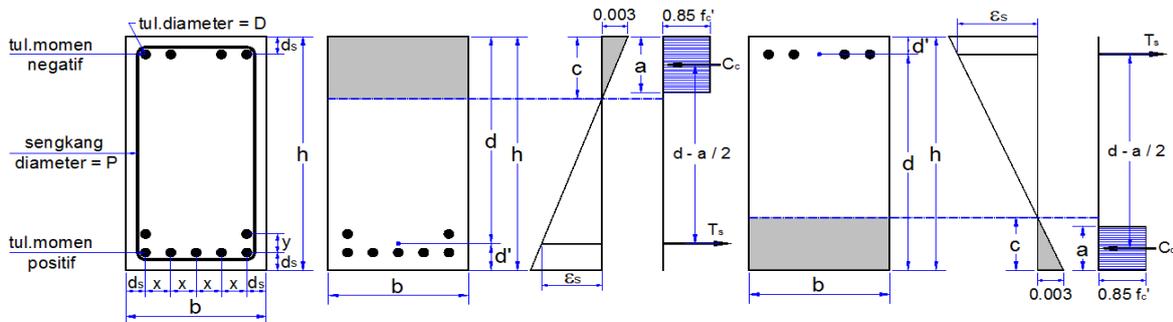
## Senggang Pertama

ACI 318M-11 pada pasal 11.1.3.1 menyebutkan bahwa tulangan geser harus disediakan pada daerah antara muka kolom hingga sejarak  $d$ , pada daerah ini balok didesain terhadap gaya geser  $V_u$  yang besarnya sama dengan gaya geser yang terjadi pada lokasi penampang kritis. Sedangkan sengkang pertama pada umumnya dipasang sejarak  $s/2$  dari muka kolom.

### • Desain Balok Terhadap Geser



## PERHITUNGAN LENTUR PADA BALOK PERSEGI



### A. DATA BALOK

BAHAN STRUKTUR			
Kuat tekan beton,	$f'_c =$	29	MPa
Tegangan leleh baja (deform) untuk tulangan lentur,	$f_y =$	400	MPa
Tegangan leleh baja (polos) untuk tulangan geser,	$f_y =$	240	MPa
DIMENSI BALOK			
Lebar balok	$b =$	600	mm
Tinggi balok	$h =$	650	mm
Diameter tulangan (deform) yang digunakan,	$D =$	22	mm
Diameter sengkang (polos) yang digunakan,	$P =$	13	mm
Tebal bersih selimut beton,	$t_s =$	70	mm
MOMEN DAN GAYA GESER RENCANA			
Momen rencana positif akibat beban terfaktor,	$M_u^+ =$	63,170	kNm
Momen rencana negatif akibat beban terfaktor,	$M_u^- =$	141,334	kNm
Gaya geser rencana akibat beban terfaktor,	$V_u =$	170,554	kN

### B. PERHITUNGAN TULANGAN

Untuk :  $f'_c \leq 30$  MPa,  $\beta_1 = 0,85$

Untuk :  $f'_c > 30$  MPa,  $\beta_1 = 0.85 - 0.05 * (f'_c - 30) / 7 = -$

Faktor bentuk distribusi tegangan beton,  $\beta_1 = 0,85$

Rasio tulangan pada kondisi *balance*,

$$\rho_b = \beta_1 * 0.85 * f'_c / f_y * 600 / (600 + f_y) = 0,0314$$

Faktor tahanan momen maksimum,

$$R_{max} = 0.75 * \rho_b * f_y * [1 - \frac{1}{2} * 0.75 * \rho_b * f_y / (0.85 * f'_c)] = 7,6254$$

Faktor reduksi kekuatan lentur,

$$\phi = 0,80$$

Jarak tulangan terhadap sisi luar beton,

$$d_s = t_s + \emptyset + D/2 = 94,00 \text{ mm}$$

Jumlah tulangan dlm satu baris,  $n_s = (b - 2 * d_s) / (25 + D) = 8,77$

Digunakan jumlah tulangan dalam satu baris,  $n_s = 8$  bh

Jarak horisontal pusat ke pusat antara tulangan,  $x = (b - n_s * D - 2 * d_s) / (n_s - 1) = 33,71$  mm

Jarak vertikal pusat ke pusat antara tulangan,  $y = D + 25 = 47,00$  mm

### 1. TULANGAN MOMEN POSITIF

Momen positif nominal rencana,  $M_n = M_u^+ / \phi = 78,962$  kNm

Diperkirakan jarak pusat tulangan lentur ke sisi beton,  $d' = 70$  mm

Tinggi efektif balok,  $d = h - d' = 580,00$  mm

Faktor tahanan momen,  $R_n = M_n * 10^6 / (b * d^2) = 0,3912$

$R_n < R_{max} \rightarrow$  (OK)

Rasio tulangan yang diperlukan :

$\rho = 0.85 * f_c' / f_y * [1 - \sqrt{1 - 2 * R_n / (0.85 * f_c')}] = 0,00099$

Rasio tulangan minimum,  $\rho_{min} = \sqrt{f_c'} / (4 * f_y) = 0,00337$

Rasio tulangan minimum,  $\rho_{min} = 1.4 / f_y = 0,00350$

Rasio tulangan yang digunakan,  $\rightarrow \rho = 0,00350$

Luas tulangan yang diperlukan,  $A_s = \rho * b * d = 1218$  mm<sup>2</sup>

Jumlah tulangan yang diperlukan,  $n = A_s / (\pi / 4 * D^2) = 3,204$

Digunakan tulangan, **4 D 22**

Luas tulangan terpakai,  $A_s = n * \pi / 4 * D^2 = 1521$  mm<sup>2</sup>

Jumlah baris tulangan,  $n_b = n / n_s = 0,50$

$n_b = 3 \rightarrow$  (OK)

Baris ke	Jumlah $n_i$	Jarak $y_i$	Juml. Jarak $n_i * y_i$
1	4	94,00	376,00
2	0	0,00	0,00
3	0	0,00	0,00
<b>n =</b>	<b>4</b>	$\Sigma [n_i * y_i] =$	<b>376</b>

Letak titik berat tulangan,  $d' = \Sigma [n_i * y_i] / n = 94,00$  mm

$94,00 > 70 \rightarrow$  **perkiraan lagi d' (NG)**

Tinggi efektif balok,  $d = h - d' = 556,00$  mm

Momen nominal,  $a = A_s * f_y / (0.85 * f_c' * b) = 41,123$  mm

Tahanan momen balok,  $M_n = A_s * f_y * (d - a / 2) * 10^{-6} = 325,660$  kNm

$\phi * M_n = 260,528$  kNm

Syarat :  $\phi * M_n \geq M_u^+$

$260,528 > 63,170 \rightarrow$  **AMAN (OK)**

## 2. TULANGAN MOMEN NEGATIF

Momen negatif nominal rencana,	$M_n = M_u^- / \phi =$	176,667	kNm
Diperkirakan jarak pusat tulangan lentur ke sisi beton,	$d' =$	50	mm
Tinggi efektif balok,	$d = h - d' =$	600,00	mm
Faktor tahanan momen,	$R_n = M_n * 10^6 / (b * d^2) =$	0,8179	
$R_n$	$<$	$R_{max}$	$\rightarrow$ (OK)
Rasio tulangan yang diperlukan :			
$\rho = 0.85 * f_c' / f_y * [1 - \sqrt{1 - 2 * R_n / (0.85 * f_c')}] =$		0,00208	
Rasio tulangan minimum,	$\rho_{min} = \sqrt{f_c'} / (4 * f_y) =$	0,00337	
Rasio tulangan minimum,	$\rho_{min} = 1.4 / f_y =$	0,00350	
Rasio tulangan yang digunakan,	$\rightarrow \rho =$	0,00350	
Luas tulangan yang diperlukan,	$A_s = \rho * b * d =$	1260	mm <sup>2</sup>
Jumlah tulangan yang diperlukan,	$n = A_s / (\pi / 4 * D^2) =$	3,315	
Digunakan tulangan,	<b>4 D 22</b>		
Luas tulangan terpakai,	$A_s = n * \pi / 4 * D^2 =$	1521	mm <sup>2</sup>
Jumlah baris tulangan,	$n_b = n / n_s =$	0,50	
$n_b$ <b>3</b>	$\rightarrow$	(OK)	

Baris ke	Jumlah $n_i$	Jarak $y_i$	Juml. Jarak $n_i * y_i$
1	4	94,00	376,00
2	0	0,00	0,00
3	0	0,00	0,00
<b>n =</b>	<b>4</b>	$\Sigma [n_i * y_i] =$	<b>376</b>

Letak titik berat tulangan,	$\rightarrow$	$d' = \Sigma [n_i * y_i] / n =$	94,00	mm
<b>94,00</b> $>$	<b>50</b>	$\rightarrow$	<b>perkiraan lagi d' (NG)</b>	
Tinggi efektif balok,		$d = h - d' =$	556,0	mm
		$a = A_s * f_y / (0.85 * f_c' * b) =$	41,123	mm
Momen nominal,		$M_n = A_s * f_y * (d - a / 2) * 10^{-6} =$	325,660	kNm
Tahanan momen balok,		$\phi * M_n =$	260,528	kNm
Syarat : $\phi * M_n$	$\geq$	$M_u^-$		
<b>260,528</b>	$>$	<b>141,334</b>	$\rightarrow$	<b>AMAN (OK)</b>

## 3. TULANGAN GESER

Gaya geser ultimit rencana,	$V_u =$	170,554	kN
Faktor reduksi kekuatan geser,	$\phi =$	0,60	
Tegangan leleh tulangan geser,	$f_y =$	240	MPa
Kuat geser beton,	$V_c = (\sqrt{f_c'}) / 6 * b * d * 10^{-3} =$	312,340	kN

Tahanan geser beton,

$$\phi * V_c = 187,404 \text{ kN}$$

→ Hanya perlu tul.geser min

Tahanan geser sengkang,

$$\phi * V_s = V_u - \phi * V_c = - \text{ kN}$$

Kuat geser sengkang,

$$V_s = 170,554 \text{ kN}$$

Digunakan sengkang berpenampang :

<b>2</b>	P	<b>13</b>
----------	---	-----------

Luas tulangan geser sengkang,

$$A_v = n_s * \pi / 4 * P^2 = 265,46 \text{ mm}^2$$

Jarak sengkang yang diperlukan :

$$s = A_v * f_y * d / (V_s * 10^3) = 216,66 \text{ mm}$$

Jarak sengkang maksimum,

$$s_{max} = d / 2 = 278,00 \text{ mm}$$

Jarak sengkang maksimum,

$$s_{max} = 250,00 \text{ mm}$$

Jarak sengkang yang harus digunakan,

$$s = 216,66 \text{ mm}$$

Diambil jarak sengkang :

$$\rightarrow s = 210 \text{ mm}$$

Digunakan sengkang,

2	P	13	210
---	---	----	-----

**Nama** : **Abdul Manan**  
**NIM** : **192710027**  
**Mata Kuliah** : **Rekayasa Sistem dan Manajemen**  
**Dosen** : **Dr.Ir.H.Achmad Syarifudin,M.Sc**

---

### UJIAN TENGAH SEMESTER

**Soal :**

- 1. Buatlah Rumus Empiris dari Sumber Daya Air dan jelaskan variable terkait dengan kajian saudara tersebut.**

**Penyelesaian :**

#### Pengukuran Debit Mata Air

pengukuran debit dari mata air untuk perencanaan dilakukan pada musim kemarau, dan jika mungkin dilakukan juga pada musim penghujan, sehingga diperoleh angka *realible yield* yang ekstrim (mendekati kenyataan sebenarnya). Pengukuran debit mata air dapat dilakukan dengan beberapa cara diantaranya adalah:

##### **A. Metode Tampung.**

Jika mata air tidak menyebar lakukan dengan Metoda Tampung. Metode ini hanya dapat digunakan untuk pengukuran sumber air yang bias dibentuk menjadi sebuah terjunan. Cara ini cukup mudah dilakukan dan dipelajari sehingga banyak digunakan untuk pengukuran, alat-alat yang diperlukan dalam pengukuran tersebut adalah:

- a) Alat tampung semacam ember/baskom dll. Yang telah diketahui volumenya (penghitungan volume bisa dilakukan dengan jalan menghitung rata-rata luas lingkaran atas dan bawah ember dikalikan ketinggiannya atau dengan cara mengisi air ke dalam ember dengan menakarnya terlebih dahulu)
- b) Stop watch atau arloji yang dilengkapi dengan stop watch

- c) Alat-alat tulis untuk mencatat hasil pengukuran yang dilakukan (pengukuran sebaiknya dilakukan berulang-ulang paling tidak 8 kali untuk mengoreksi pengukuran sebelumnya)

Rumus yang digunakan untuk menghitung pengukuran debit:

$$Q = \frac{V}{t}$$

Dimana :

Q = Debit ( liter/detik)

V = Volume (liter)

t = Waktu (detik)

#### **Contoh perhitungan dengan Metoda Tampung :**

- Volume ember (harus diketahui terlebih dahulu) = 20 lt
- Waktu yang diperoleh untuk mengisi ember tersebut (stopwatch) = 12 detik, sebaiknya gunakan ember / wadah yang agak besar sehingga waktu pengisiannya lebih lama dan hasil lebih akurat pengukurannya.  
(t = 10 ~ 15 detik).

Maka:

$$\begin{aligned} Q &= V / t \\ &= 20 \text{ l} / 12 \text{ dt} \\ &= \mathbf{1,67 \text{ l/dt}} \end{aligned} \quad \text{adalah besar debit mata air yang diukur}$$

### 3. Cara Sederhana Pengukuran Debit

#### a. Metoda ember

Peralatan yang dibutuhkan

- Ember atau wadah lainnya yang volumenya diketahui
- Pengukur waktu (*Stop watch*)

Cara pengukuran:

- Gunakan metoda ini bila seluruh aliran bisa ditampung dalam wadah atau ember itu, misalnya air yang keluar dari mata air melalui sebuah pipa.
- Hidupkan *stop watch* tepat pada saat ember atau wadah disimpan untuk menampung aliran air.
- Matikan *stop watch* tepat pada saat ember satu wadah penuh.

Perhitungan debit:

$$Q = \frac{V}{T}$$

Dimana: Q dalam l/detik

T = waktu saat stop watch dihidupkan dan dimatikan, dalam detik

V = volume ember atau wadah

Contoh: ember dengan isi 40 l, dalam waktu 8 detik.

$$Q = \frac{40}{8} = 5 \text{ l/d}$$

Ujian Tengah semester :

Soal :

1. Buatlah Rumus Empiris dari Sumber Daya Air dan jelaskan variable terkait dengan kajian saudara tersebut.

Penyelesaian :

### Pengukuran Debit Mata Air

pengukuran debit dari mata air untuk perencanaan dilakukan pada musim kemarau, dan jika mungkin dilakukan juga pada musim penghujan, sehingga diperoleh angka *realible yield* yang ekstrim (mendekati kenyataan sebenarnya). Pengukuran debit mata air dapat dilakukan dengan beberapa cara salah satunya adalah:

#### 1. METODE CHIPOLETTI

Metode ini terjadi untuk (ambang trapezium) terbalik

Rumus Umum yang menghubungkan ketinggian muka air ( h ) dan debit air ( Q ) untuk alat ukur ambang chipoletti adalah sbb:

$$Q = \frac{2}{3} C_d L H^{3/2} \sqrt{2g}$$

Dimana  $C_d$  adalah koefisien Drag, jika aliran air terjadi kontraksi di muka ambang  $C_d = 0,63$  maka persamaan menjadi

$$Q = \frac{2}{3} (0,63) L h^{3/2} \sqrt{2g}$$

Maka persamaan menjadi

$$Q = 0,42 L h \sqrt{2gh}$$

Disederhanakan menjadi

Rumus yang digunakan untuk menghitung pengukuran debit:

$$Q = 1,9 L h^{3/2}$$

Dimana :

Q = Debit air (m<sup>3</sup>/detik)

L = Lebar ambang (m)

h = Tinggi air (m)

Metode Rectanguler (ambang persegi panjang) menggunakan rumus perhitungan :

$$Q = 1,9 (L - 0,2h) h^{3/2}$$

*Dimana :*

Q = Debit air (m<sup>3</sup>/detik)

L = Lebar ambang(m)

h = Tinggi air (m)

## Pengukuran Debit Air

### 1 Sekat Cipoletti

#### Alat yang diperlukan:

- 1) Sekat Trapesiodal yang sisi-sisi dalam sekat itu meruncing, seperti pada gambar 2, dibuat dari pelat logam (baja, aluminium, dan lain-lain) atau dari kayu lapis. Sekat ini tetap dipasang pada lokasi pengukuran atau hanya sementara saja.
- 2) Penggaris, tongkat ukur atau pita ukur.

#### Cara pengukuran:

- 1) Tempatkan sekat pada aliran (sungai kecil, pelimpahan mata air, dan sebagainya), yang akan diukur, pada posisi yang baik sehingga sekat betul-betul mendatar atau "h" pada kedua sisinya adalah sama;
- 2) Ukur "h" dengan penggaris, tongkat ukur atau pita ukur.

#### Perhitungan debit

Debit dihitung dengan persamaan:

$$Q = 0.0186 bh^{3/2}$$

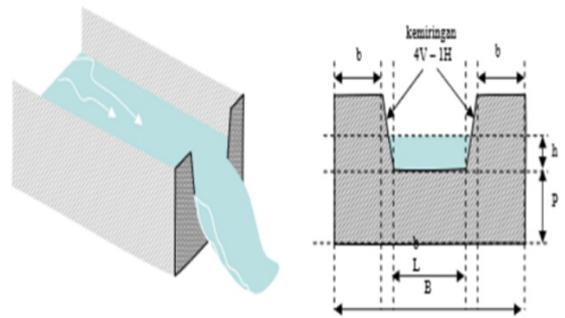
Dimana: Q dalam l/d

b dalam cm

h dalam cm

#### Keadaan untuk pengukuran:

- 1) Aliran di hulu dan di hilir sekat harus tenang;
- 2) Aliran hanya melalui sekat, tidak ada kebocoran pada bagian atas atau samping sekat;
- 3) Air harus mengalir bebas dari sekat, tidak menempel pada sekat (lihat Gambar 2).



Gambar Sekat Cipoletti

## UJIAN TENGAH SEMESTER

Soal : Buatlah Rumusan empiris dari beberapa kajian SDA, Jalan dan transportasi, Geoteknik, Struktur dan bahan dan jelaskan variabel terkait dengan kajian saudara tersebut

Menghitung debit aliran air:

Menghitung waktu konsentrasi (Tc) dengan metode Kirpich:

$$\begin{aligned} T_c &= 0.0195 (20000)^{0.77} (1100/20000)^{-0.385} \\ &= 0.0195 \times 2050.18 \times 3.05 \\ &= 122.12 \text{ menit dibulatkan menjadi 2 jam.} \end{aligned}$$

Menghitung intensitas hujan dengan rumus Mononobe :

$$\begin{aligned} I &= 2.5/24 (24/2)^{2/3} \\ &= 0.10 \times 5.24 \\ &= 0.5 \text{ mm/jam} \end{aligned}$$

Menghitung koefisien pengaliran (C):

$$\begin{aligned} 20\% \times 0.60 &= 0.12 \\ 30\% \times 0.60 &= 0.18 \\ 50\% \times 0.20 &= \underline{0.10} + \\ \text{Nilai C} &= 0.40 \end{aligned}$$

Menghitung Debit Aliran dengan Metoda Rasional

$$\begin{aligned} Q &= 0.0028 \times C \times I \times A \\ &= 0.0028 \times 0,40 \times 0.5 \times 4250 \\ &= 2.38 \text{ m}^3 \text{ /dt} \end{aligned}$$

### **Pengukuran Debit Aliran Maksimum Dengan Menggunakan Cara Empiris**

Pada pengukuran cara ini biasanya dilakukan karena tidak adanya data hidrologis yang memadai dan hanya menduga besarnya debit maksimum. Pada umumnya, digunakan rumus untuk menduga debit aliran dengan satu atau dua variabel yang sangat berhubungan dengan jumlah aliran. Mengingat faktor yang mempengaruhi besarnya debit aliran sangat banyak maka hasil yang diperoleh tentu kurang tepat, tetapi rumus empiris ini dapat memberikan perkiraan kasar yang berguna/memadai.

Banyak negara yang telah mengembangkan rumus-rumus empiris ini sehingga cara penggunaannya harus benar-benar diperhatikan persyaratan penggunaannya. Rumus-rumus tersebut antara lain:

1) U.S Geological Survey:

$$Q = 1400 A^{0.476}$$

di mana:

Q = dalam satuan British, cfs

A = luas DAS antara 10000 - 24000 mile<sup>2</sup>

2) English, India:

$$Q = 7000 A / (A+4)^{1/2}$$

di mana:

Q = debit aliran maksimum, cfs

A = luas DAS khususnya bentuk kipas, mile<sup>2</sup>

3) Whistler, Italy:

$$Q = 1538 / (A + 259) + 0.054 \times A$$

di mana:

Q = debit aliran maksimum, m<sup>3</sup>/dt

A = luas DAS antara 1000 – 12000 km<sup>2</sup>

4) Paliaro, Italy:

$$Q = 2900 h / (A + 90)$$

di mana:

Q = debit aliran maksimum, m<sup>3</sup>/dt

A = luas DAS kurang dari 1000 km<sup>2</sup>

5) Ecafe (lengkung CREAGER)

$Q = 0.35 A (1.8 A - 0.05)$

di mana:

Q = debit aliran maksimum, m<sup>3</sup>/dt

A = luas DAS, cocok untuk aliran di Indonesia, km<sup>2</sup>

### **Variabel terkait Sumber Daya Air**

Hubungan antara wawasan masyarakat tentang drainase dan kepercayaan masyarakat terhadap drainase terhadap partisipasi masyarakat dalam pemeliharaan drainase dianalisis dengan menggunakan analisis regresi ganda. Wawasan masyarakat dan kepercayaan masyarakat tersebut merupakan variabel bebas, masing-masing disimbolkan dengan W dan K, sedangkan partisipasi masyarakat adalah variabel terikat yang disimbolkan dengan P. Hubungan ketiga variabel tersebut diperlihatkan pada Rumus.

$P = F ( W , K )$

Signifikansi pengaruh kedua variable bebas terhadap variabel terikat tersebut di atas dilakukan dengan uji parsial.

**Nama : Arif Satria Rusmana**

**Nim : 192710001**

**UTS**

## **TINJAUAN KUAT TEKAN DAN MODULUS ELASTISITAS BETON DENGAN MENGGUNAKAN LIMBAH BATU CANDI SEBAGAI PENGGANTI AGREGAT KASAR**

### **PENDAHULUAN**

Dalam bidang teknik sipil secara umum, tidak lepas dari penggunaan beton. Sebagai konsekuensinya, kebutuhan akan bahan-bahan pembentuk beton akan selalu bertambah. Yang pada akhirnya persediaan bahan baku beton akan semakin berkurang. Salah satunya adalah bahan bangunan berupa agregat yang merupakan bahan dasar dalam pembuatan beton. Agregat merupakan komponen yang paling banyak dalam unsur pembuat beton dan berperan dalam menentukan mutu beton. Pada beton biasanya terdapat sekitar 60%-80% volume agregat. Agregat ini harus bergradasi sedemikian rupa sehingga seluruh massa beton dapat berfungsi sebagai benda yang utuh, homogen, dan rapat. Agregat yang baik bisa diperoleh dari batu pecah alam yang berasal dari gunung berapi dan juga dapat diperoleh dari pengikisan tepi ataupun dasar sungai oleh air sungai yang mengalir secara alami atau disebut sedimentasi.

Daerah Sambirejo, Prambanan, Yogyakarta merupakan daerah produsen batu-batu alam yang terbesar di daerah ini. Walaupun baru beroperasi sekitar 5 tahun tetapi limbah batu yang dihasilkan sudah cukup besar karena hampir 70 % penduduknya menggeluti profesi ini. Batu yang diproduksi di daerah ini ada 4 jenis yaitu Batu Candi (Lava Stone), Batu Breksi, Batu Paras, dan Batu Semin. Untuk Batu Candi sendiri dihasilkan langsung dari aktivitas penambangan di Gunung Merapi Yogyakarta.

Dari kebutuhan bahan baku beton, khususnya agregat kasar, yang terus bertambah, perlu kiranya untuk mencari bahan alternatif pengganti agregat yang selama ini umum digunakan, dengan bahan lain yang sesuai dengan persyaratan teknis dan ekonomis. Dalam hal ini, pemenuhannya dengan menggunakan alternatif bahan yang berupa limbah batu candi dari kawasan produsen batu alam di Sambirejo. Yang selain dapat digunakan untuk pemenuhan agregat kasar dalam unsur pembentuk beton maupun dalam rangka pengurangan limbah batu candi yang sudah tidak digunakan lagi.

Dalam penelitian ini, limbah batu candi digunakan sebagai pengganti agregat kasar dalam berbagai proporsi campuran yang ditinjau dari kuat tekan dan modulus elastisitasnya. Kuat tekan merupakan parameter utama mutu beton demikian juga dengan modulus elastisitas. Kuat tekan beton dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain kualitas bahan, rancang campur, dan cara pengerjaan pembuatan beton. Kualitas bahan dalam hal ini juga termasuk kualitas agregat kasar. Berdasarkan hal tersebut, maka dilakukan penelitian yang membahas penggunaan limbah batu candi sebagai agregat kasar terhadap nilai kuat tekan dan modulus elastisitas beton pada beton normal. Sehingga nantinya dapat dilihat penggunaan limbah batu candi dapat diaplikasikan pada beton normal.

### **TINJAUAN PUSTAKA**

Beton adalah campuran antara semen portland atau semen hidrolik lain, agregat halus, agregat kasar, dan air dengan atau tanpa bahan tambah dengan perbandingan tertentu yang kemudian membentuk suatu massa yang padat. Dari bahan-bahan pembentuk beton tersebut semen merupakan bahan yang memiliki sifat adhesif dan kohesif yang memungkinkan melekatnya fragmen-fragmen mineral menjadi suatu massa yang padat. (Chiu-Kia Wang, 1986)

Bermacam-macam jenis batu, bila mana dipecah cocok untuk agregat kasar beton yaitu : 1) Batu kapur, 2) *Sandstone*, 3) Batu Tulis, dan 4) Batuan Metamorfosa. (Murdock dan Brook, 1991 : 28)

Sifat-sifat beton keras yang penting adalah kekuatan karakteristik, kekuatan desak, tegangan-regangan, susut rangkai, reaksi terhadap temperature, keawetan, dan kededapan air terhadap air. Dari sifat-sifat tersebut yang terpenting dan berkaitan dengan kekuatan beton adalah kuat desak. Dalam hal ini kuat desak beton merupakan gambaran dari mutu beton yang ada kaitannya dengan struktur beton. Alasan lain kuat desak beton merupakan

parameter terpenting adalah beton lebih tahan terhadap desak daripada tarik. (Subakti, 1994 :IV-1)

Tolak ukur yang umum dari sifat elastik suatu bahan adalah modulus elastisitas, yang merupakan perbandingan dari tekanan yang diberikan dengan perubahan bentuk per-satuan panjang, sebagai akibat dari tekanan yang diberikan. Modulus elastisitas tidak berkaitan langsung dengan sifat-sifat beton lainnya, meskipun kekuatan yang lebih tinggi biasanya mempunyai harga E yang lebih tinggi pula. (Murdock dan Brook, 1991 : 11)

**Kuat Tekan**

Kekuatan tekan adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan per satuan luas. Kuat tekan beton mengidentifikasi mutu dari sebuah struktur. Semakin tinggi tingkat kekuatan struktur yang dikehendaki, semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan.

Nilai kuat tekan beton didapat melalui pengujian standar menggunakan mesin uji dengan cara memberikan beban tekan bertingkat dengan kecepatan peningkatan beban tertentu atas benda uji silinder beton (diameter 150 mm, tinggi 300 mm) sampai hancur. Sedang untuk pengujian kuat tekan dapat diformulasikan sebagai berikut [1]:

$$f' c = \frac{P_{maks}}{A} \dots\dots\dots [1]$$

Dimana :

- fc' : kuat tekan beton salah satu benda uji (MPa)
- P : beban tekan maksimum (kN)
- A : luas permukaan benda uji (mm<sup>2</sup>)

**Modulus Elastisitas**

Kajian tentang hubungan tegangan-regangan beton perlu diketahui untuk menurunkan persamaan analisis dan perencanaan suatu bagian struktur. Kemampuan bahan untuk menahan beban yang didukungnya dan perubahan bentuk yang terjadi pada bahan itu amat tergantung pada sifat tegangan dan regangan tersebut.

Menurut Murdock dan Brook (1991:2), modulus elastisitas yang sebenarnya atau modulus pada waktu tertentu dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut [2] :

$$\text{Modulus Elastisitas} = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{P}{A} \dots\dots\dots [2]$$

Dimana:

$$\text{Tegangan } (\sigma) = \frac{P}{A} \dots\dots\dots [3]$$

$$\text{Regangan } (\epsilon) = \frac{\Delta L}{L} \dots\dots\dots [4]$$

- P : beban yang diberikan (ton)
- A : luas tampang melintang (mm<sup>2</sup>)
- ΔL : perubahan panjang akibat P (mm)
- L : panjang semula (mm)

Atau modulus elastisitas dapat diformulasikan sebagai berikut:

$$\text{Modulus Elastisitas (EC)} = \frac{S_1 - S_2}{\epsilon_1 - \epsilon_2} \dots\dots\dots [5]$$

Dimana:

- EC : modulus elastisitas (MPa)
- S1 : tegangan 40% fc' (MPa)
- S2 : tegangan yang bersesuaian dengan regangan arah longitudinal sebesar 0,00005 (MPa).
- ε1 : regangan longitudinal akibat tegangan S1
- ε 2 : regangan longitudinal akibat tegangan S2

$$\text{dengan regangan } (\epsilon) = \frac{\delta}{L} \dots\dots\dots$$

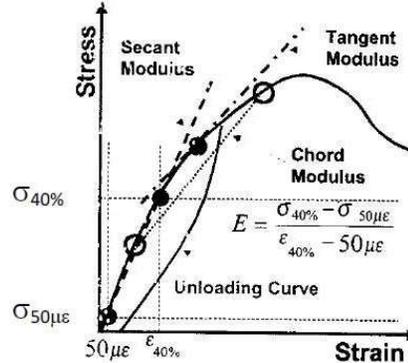
dimana:

$\delta$  : deformasi longitudinal (mm)

$h$  : tinggi efektif pengukuran (mm)

Dengan berdasarkan formulasi tersebut maka dapat dihitung nilai modulus elastisitas beton.

Modulus elastisitas adalah kemiringan kurva tegangan-regangan di dalam daerah elastis linier pada sekitar 40% beban puncak (ASTM STP 169D Chapter 19,1994).



Gambar 1. Macam-macam Bentuk Modulus Elastisitas

## METODE PENELITIAN

Metode yang diterapkan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah adanya perkuatan beton dengan menggantikan agregat kasar beton dengan limbah batu candi pada campuran adukan beton. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah nilai kuat tekan dan besarnya modulus of elasticity (MOE).

Benda uji dibuat dengan material pembentuk beton terdiri dari semen, kerikil, pasir dan limbah batu candi sebagai pengganti agregat kasar dengan variasi penggantian 0%, 20%, 40%, 60%, 80% dan 100% dari berat kerikil. Jumlah sampel masing-masing variasi sebanyak 3 buah.

Tahapan – tahapan pelaksanaan penelitian adalah 1) Persiapan, 2) Pengujian bahan, 3) Pembuatan *mix design*, 4) Pembuatan benda uji, 5) Perawatan benda uji, 6) Pengujian benda uji, 7) Analisis Data, dan 8) Pengambilan kesimpulan

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pengujian Agregat Halus

Pengujian yang dilakukan terhadap agregat halus (Pasir) dalam penelitian ini meliputi pengujian kandungan zat organik, kandungan lumpur, *specific gravity* dan gradasi.

Tabel 1. Hasil Pengujian Agregat Halus (Pasir)

Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Standar	Kesimpulan
Kandungan Zat Organik	Larutan NaOH 3% berwarna kuning tua	Kuning Muda	Memenuhi Syarat (dicuci terlebih dahulu)
Kandungan Lumpur	10%	Maksimum 5%	Memenuhi Syarat (dicuci terlebih dahulu)
Bulk Spesific Gravity	2,48	-	-
Bulk Spesific Gravity SSD	2,53	2,5 - 2,7	Memenuhi Syarat
Apparent Spesific Gravity	2,59	-	-
Absorption	1,63%	-	-
Modulus Halus Butir	2,80	2,3 - 3,1	Memenuhi Syarat

Tabel 2. Hasil Pengujian Agregat Halus (Pasir) Setelah Dicuci

Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Standar	Kesimpulan
Kandungan Zat Organik	Larutan NaOH 3% berwarna kuning muda	Kuning Muda	Memenuhi Syarat
Kandungan Lumpur	4%	Maksimum 5%	Memenuhi Syarat

### Pengujian Agregat Kasar

Pengujian yang dilakukan terhadap agregat kasar dalam penelitian ini meliputi pengujian abrasi, gradasi agregat dan *specific gravity*.

Tabel 3. Hasil Pengujian Agregat Kasar (Kerikil)

Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Standar	Kesimpulan
Bulk Specific Gravity	2,40	-	-
Bulk Specific Gravity SSD	2,51	2,5 – 2,7	Memenuhi Syarat
Apparent Specific Gravity	2,69	-	-
Absorption	4,60 %	-	-
Modulus Halus Butir	7,29	5 – 8	Memenuhi Syarat
Abrasi	41,05 %	Maksimum 50 %	Memenuhi Syarat

Tabel 4. Hasil Pengujian Agregat Kasar (Batu Candi)

Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Standar	Kesimpulan
Bulk Specific Gravity	2,06	-	-
Bulk Specific Gravity SSD	2,23	2,5 – 2,7	Tidak Memenuhi Syarat
Apparent Specific Gravity	2,48	-	-
Absorption	8,17 %	-	-
Modulus Halus Butir	7,20	5 – 8	Memenuhi Syarat
Abrasi	43,05 %	Maksimum 50%	Memenuhi Syarat

### Mix Design

*Mix Design* yang digunakan adalah dengan metode SNI 03-2834-2000 dengan mutu beton yang ditargetkan 25 MPa. Hasil *mix design* dapat dilihat pada tabel 5. berikut :

Tabel 5. Kebutuhan Bahan untuk 3 Benda Uji Tiap Variasi

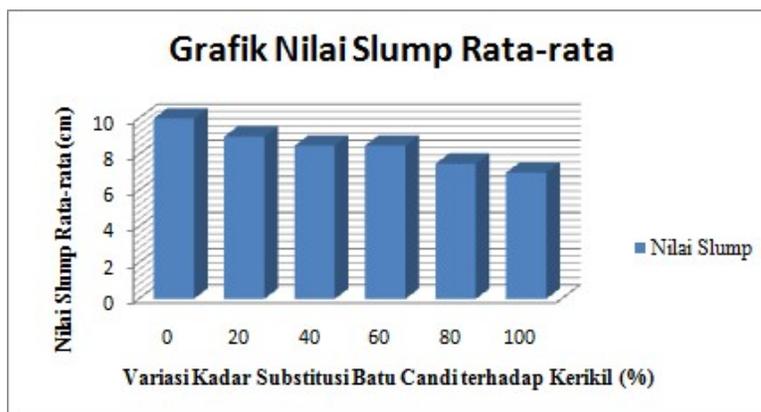
Variasi Kadar Substitusi Batu Candi (%)	Semen (kg)	Pasir (kg)	Kerikil (kg)	Air (liter)	Batu Candi (kg)
100 %	7,41	10,80	0	3,26	15,04
80 %	7,41	10,80	3,01	3,26	12,03
60 %	7,41	10,80	6,02	3,26	9,02
40 %	7,41	10,80	9,02	3,26	6,02
20 %	7,41	10,80	12,03	3,26	3,01
0 %	7,41	10,80	15,04	3,26	0

### Uji Slump

Dari masing-masing campuran adukan beton pada beton normal tersebut didapatkan nilai *slump* yang berbeda-beda. Nilai *slump* diperlukan untuk mengetahui tingkat *workability* dari campuran beton. Hasil pengujian *slump* dapat dilihat pada tabel 6. sebagai berikut

Tabel 6. Hasil Pengujian Nilai *Slump*

Variasi Kadar Batu Candi (%)	0	20	40	60	80	100
Nilai <i>Slump</i> Rata-rata (cm)	10	9	8,5	8,5	7,5	7



Gambar 2. Diagram Hubungan Nilai *Slump* Rata-rata dengan Variasi Kadar Batu Candi

Nilai *slump* mengalami penurunan disebabkan adanya campuran batu candi terhadap kerikil sebesar 0%, 20%, 40%, 60%, 80% dan 100%. Semakin banyak kadar batu candi yang digunakan, campuran beton yang dihasilkan cenderung memiliki nilai *slump* yang lebih rendah, karena batu candi bersifat *porous* (berpori) sehingga meskipun pengadukan dilakukan dalam kondisi kering permukaan (*SSD = Saturated Surface Dry*), batu candi tersebut tetap menyerap sedikit air dari campuran beton. .

### Kuat Tekan

Pengujian dilakukan pada saat benda uji berumur 28 hari, dari pengujian tegangan yang dilakukan dengan menggunakan mesin uji desak (*Compressing Testing Machine*) merk Controls didapatkan beban maksimum yaitu beban pada saat beton hancur ( $P_{maks}$ ). Hasil hubungan kuat tekan beton rerata terhadap kadar substitusi batu candi dapat dilihat pada gambar 3. berikut :



Gambar 3. Diagram Hubungan Kuat Tekan Beton Rata-rata dengan Kadar Batu Candi

Dari hasil penelitian, diketahui seberapa besar pengaruh variasi jumlah kadar penggunaan batu candi sebagai pengganti kerikil terhadap nilai kuat tekan beton. Pengaruh variasi kadar penggunaan batu candi sebagai pengganti kerikil dapat dilihat pada tabel 7. berikut :

Tabel 7. Pengaruh Penggunaan Kadar Batu Candi sebagai Pengganti Kerikil terhadap Kuat Tekan

No	Kadar Batu Candi	Kuat Tekan Beton dengan Batu Candi (MPa)	Kuat Tekan Beton Tanpa Batu Candi (MPa)	Selisih Kuat Tekan	
				(MPa)	(%)
1	20%	31,300	36,768	5,468	14,872
2	40%	28,283		8,485	23,077
3	60%	27,152		9,616	26,135
4	80%	25,266		11,502	31,283
5	100%	24,135		12,633	34,359

Berdasarkan hasil pengujian tersebut diatas dapat diketahui bahwa :

1. Evaluasi pengujian kuat tekan beton dari 6 variasi kadar batu candi tidak ada dari benda uji yang kurang dari 17,5 MPa (Standart kuat tekan minimum beton normal untuk bangunan menurut SNI-03-2847-2002)
2. Kuat tekan beton untuk kadar batu candi 0% memenuhi syarat beton normal yang ditargetkan yaitu 25 MPa dan 35,65 MPa (ditambah margin), kadar 20%, 40%, 60%, dan 80% memenuhi mutu beton normal yang ditargetkan 25 MPa sedangkan untuk 100% belum memenuhi mutu beton yang ditargetkan.
3. Berdasarkan tabel 7. jika ditinjau dari variasi kadar batu candi yang dipakai tampak bahwa kuat tekan beton menurun antara 14,872% sampai 34,359%.

### Modulus Elastisitas

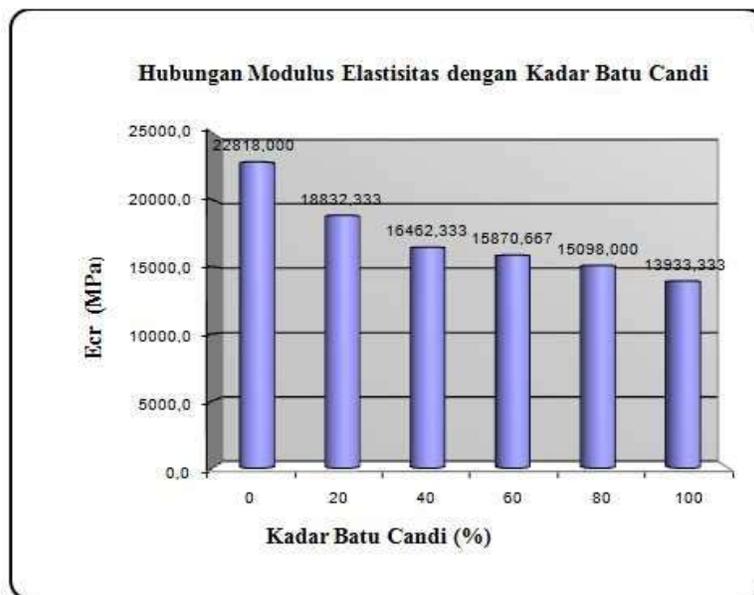
Data hasil pengujian tegangan dan regangan aksial diolah dengan menggunakan program *Microsoft Excel* sehingga akan diperoleh hubungan tegangan-regangan aksial pada setiap benda uji. Maka didapat persamaan regresi seperti

tertera pada Tabel 8. dan hubungan modulus elastisitas dengan kadar batu candi pada Gambar 4. berikut :

Tabel 8. Persamaan Regresi Fungsi Tegangan-Regangan Aksial Beton

No	Kode	Persamaan Regresi	No	Kode	Persamaan Regresi	
1	BC0.1	$Y = 21525 X$	10	BC60.1	$Y = 11891 X$	
2	BC0.2	$Y = 24971 X$	11	BC60.2	$Y = 18876 X$	
3	BC0.3	$Y = 21958 X$	12	BC60.3	$Y = 16845 X$	
4	BC20.1	$Y = 12970 X$	13	BC80.1	$Y = 8267 X$	
5	BC20.2	$Y = 21464 X$	14	BC80.2	$Y = 9133 X$	X
6	BC20.3	$Y = 22063 X$	15	BC80.3	$Y = 27714 X$	
7	BC40.1	$Y = 22598 X$	16	BC100.1	$Y = 4132 X$	=
8	BC40.2	$Y = 16031 X$	17	BC100.2	$Y = 31251 X$	
9	BC40.3	$Y = 10758 X$	18	BC100.3	$Y = 6417 X$	R e

Regangan Aksial (mm)  $Y =$   
Tegangan (MPa)



Gambar 3. Diagram Hubungan Modulus Elastisitas dengan Kadar Batu Candi

Modulus elastisitas beton ditentukan dari hubungan antara tegangan dan regangan pada daerah elastis. Berikut adalah pengaruh kadar batu candi terhadap modulus elastisitas :

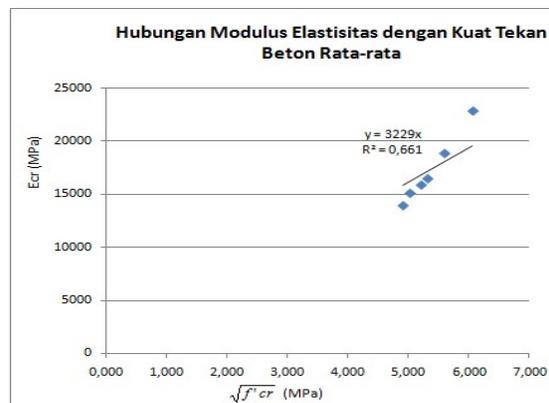
Tabel 9. Pengaruh Penggunaan Kadar Batu Candi Sebagai Pengganti Kerikil Terhadap Modulus Elastisitas

No	Kadar Batu Candi	MOE Beton	MOE Beton	Selisih MOE	
		dengan Batu Candi (MPa)	Tanpa Batu Candi (MPa)	(MPa)	%
1	20%	18832,333	22818,000	3985,667	17,467
2	40%	16462,333		6365,667	27,898
3	60%	15870,667		6947,333	30,447
4	80%	15098,000		7720,000	33,833
5	100%	13933,333		8884,667	38,937

Berdasarkan tabel 9. jika ditinjau dari variasi kadar batu candi yang dipakai tampak bahwa modulus elastisitas beton menurun antara 17,467% sampai 38,937%. Penggunaan batu candi memiliki nilai modulus elastisitas yang lebih rendah dari nilai modulus elastisitas pada beton normal dengan menggunakan pasir.

### Hubungan Antara Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas

Dengan memasukkan data  $\sqrt{f'_{cr}}$  dan modulus elastisitas ke dalam analisis regresi pada program Microsoft excel, didapatkan grafik hubungan  $\sqrt{f'_{cr}}$  dan  $E_c$  serta persamaan regresi *linear* yang ditampilkan pada gambar 4.



Gambar 4. Grafik Hubungan Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas

Dari grafik dapat diketahui bahwa hubungan antara modulus elastisitas dan kuat tekan pada penelitian memiliki rumus empiris sebagai berikut:

$$E_c = 3229 \sqrt{f'_{cr}} \quad [7]$$

(Rumus empiris hasil regresi *linear* dari gambar 4.)

### SIMPULAN

Dari penelitian ini, maka dapat kesimpulan sebagai berikut : 1) Kuat tekan beton yang didapatkan antara 37 MPa sampai 24 MPa, memenuhi standar SNI-03-2847-2002 yaitu beton normal yang mempunyai nilai kuat tekan 17,5-40 MPa dan menurut SNI-03-2847-2002 masuk pada beton kelas III diatas 20 MPa atau mutu sedang menurut ACI-363R-92 sehingga dapat digunakan untuk bangunan struktural seperti jembatan, bangunan tinggi, dll, 2) Nilai kuat tekan beton untuk kadar batu candi 0% hingga 80% memenuhi syarat beton normal yang ditargetkan yaitu 25 MPa. Sedangkan untuk beton dengan kadar batu candi 100% tidak memenuhi syarat mutu beton yang ditargetkan, Nilai modulus Elastisitas beton dari hasil perhitungan diperoleh rumus  $E = 3229 \sqrt{f'_{cr}}$  sedikit dibawah rumus nilai modulus elastisitas beton normal menurut SNI 03-2847-2002 yaitu  $E = 4700 \sqrt{f'_{cr}}$ , sehingga batu candi layak digunakan sebagai pengganti kerikil untuk memenuhi standar beton struktural,, 3) Berat jenis beton sangat berpengaruh terhadap modulus elastisitas. Modulus elastisitas menurun linier sebanding dengan menurunnya berat jenis beton karena penambahan kadar batu candi.

Nama : Asep Nugraha  
NIM : 192710025  
Tugas : UTS  
MK : Rekayasa Sistem dan Manajemen  
Dosen : Dr.Ir.H.Achmad Syarifudin,M.Sc

---

### Ujian Tengah semester :

Soal :

1. Buatlah Rumus Empiris dari Sumber Daya Air dan jelaskan variable terkait dengan kajian saudara tersebut.

Penyelesaian :

#### Pengukuran Debit Mata Air

pengukuran debit dari mata air untuk perencanaan dilakukan pada musim kemarau, dan jika mungkin dilakukan juga pada musim penghujan, sehingga diperoleh angka *realible yield* yang ekstrim (mendekati kenyataan sebenarnya). Pengukuran debit mata air dapat dilakukan dengan beberapa cara salah satunya adalah:

#### 1. METODE CHIPOLETTI

Metode ini terjadi untuk (ambang trapezium) terbalik

Rumus Umum yang menghubungkan ketinggian muka air ( h ) dan debit air ( Q ) untuk alat ukur ambang chipoletti adalah sbb:

$$Q = \frac{2}{3} C_d L H^{3/2} \sqrt{2g}$$

Dimana  $C_d$  adalah koefisien Drag, jika aliran air terjadi kontraksi di muka ambang  $C_d = 0,63$  maka persamaan menjadi

$$Q = \frac{2}{3} (0,63) L h^{3/2} \sqrt{2g}$$

Maka persamaan menjadi

$$Q = 0,42 L h \sqrt{2 gh}$$

Disederhanakan menjadi

Rumus yang digunakan untuk menghitung pengukuran debit:

$$Q = 1,9 L h^{3/2}$$

Dimana :

Q = Debit air (m<sup>3</sup>/detik)

L = Lebar ambang (m)

h = Tinggi air (m)

Metode Rectanguler (ambang persegi panjang) menggunakan rumus perhitungan :

$$Q = 1,9 (L - 0,2h) h^{3/2}$$

*Dimana :*

Q = Debit air(m<sup>3</sup>/detik)

L = Lebar ambang(m)

h = Tinggi air (m)

## Pengukuran Debit Air

### 1 Sekat Cipoletti

#### Alat yang diperlukan:

- 1) Sekat Trapesiodal yang sisi-sisi dalam sekat itu meruncing, seperti pada gambar 2, dibuat dari pelat logam (baja, aluminium, dan lain-lain) atau dari kayu lapis. Sekat ini tetap dipasang pada lokasi pengukuran atau hanya sementara saja.
- 2) Penggaris, tongkat ukur atau pita ukur.

#### Cara pengukuran:

- 1) Tempatkan sekat pada aliran (sungai kecil, pelimpahan mata air, dan sebagainya), yang akan diukur, pada posisi yang baik sehingga sekat betul-betul mendatar atau "h" pada kedua sisinya adalah sama,
- 2) Ukur "h" dengan penggaris, tongkat ukur atau pita ukur.

#### Perhitungan debit

Debit dihitung dengan persamaan:

$$Q = 0.0186 bh^{3/2}$$

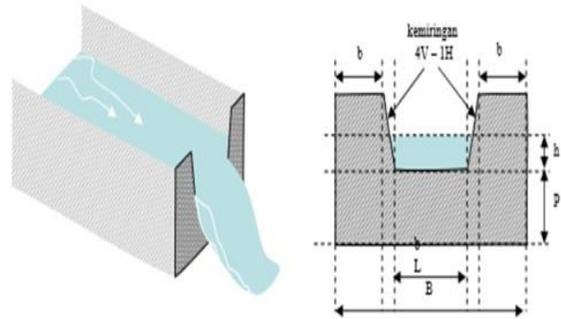
Dimana: Q dalam l/d

b dalam cm

h dalam cm

#### Keadaan untuk pengukuran:

- 1) Aliran di hulu dan di hilir sekat harus tenang;
- 2) Aliran hanya melalui sekat, tidak ada kebocoran pada bagian atas atau samping sekat;
- 3) Air harus mengalir bebas dari sekat, tidak menempel pada sekat (lihat Gambar 2).



Gambar Sekat Cipoletti