

PENGARUH HUBUNGAN BEBAN LALU LINTAS & CBR SUBGRADE TERHADAP DESAIN TEBAL PERKERASAN LENTUR JALAN BARU PADA DAERAH IKLIM I & DAERAH IKLIM II

Flandieh S.E Wowor

Joice E. Waani, Theo K. Sendow

Fakultas Teknik Jurusan Sipil, Universitas Sam Ratulangi Manado

Email: flandiehelhan@gmail.com

ABSTRAK

Dalam menghitung desain tebal perkerasan lentur, salah satu faktor yang perlu diperhatikan adalah faktor kondisi lingkungan, dalam hal ini menyangkut iklim dan curah hujan. Pada beberapa tahun terakhir kita sering mendengar bahkan membahas tentang perubahan iklim atau yang dikenal dengan climate change. Menurut penelitian dari National Aeronautics and Space Administration (NASA) yang dimuat dalam situsnya, salah satu dampak dari climate change adalah perubahan pola curah hujan dalam skala global. Hal ini menyebabkan terjadinya peralihan, dimana daerah yang awalnya memiliki tingkat curah hujan rendah akan mengalami perubahan tingkat curah hujan menjadi tinggi.

Perhitungan desain tebal perkerasan lentur jalan baru dengan metode AASHTO 1972 mempertimbangkan faktor regional dalam hal ini iklim & curah hujan. Dimana untuk daerah iklim I dengan tingkat curah hujan < 900 mm/thn digunakan $FR = 1$ sedangkan daerah iklim II dengan tingkat curah hujan > 900 mm/thn digunakan $FR = 1.5$. Untuk perhitungan dengan metode AASHTO 1986 diperkenalkan konsep koefisien drainase untuk mengakomodasi kualitas sistem drainase yang dimiliki perkerasan jalan.

Dalam penelitian ini dilakukan pengumpulan data-data yang akan digunakan seperti CBR tanah dasar, beban lalu lintas, ZR , S_0 , ΔPsi , koefisien drainase, material lapis perkerasan, M_r , dll. Dimana data yang digunakan bersifat asumsi untuk menggambarkan beberapa kondisi dilapangan yang mungkin terjadi pada waktu yang akan datang.

Dari hasil perhitungan menunjukkan bahwa tebal total perkerasan menggunakan metode AASHTO 1972 untuk daerah iklim I, dengan variasi CBR tanah dasar dan variasi beban lalu lintas adalah berkisar 32 ~ 73.5 cm sedangkan untuk daerah iklim II, dengan variasi CBR tanah dasar dan variasi beban lalu lintas adalah berkisar 32.5 ~ 78 cm. Kemudian menggunakan metode AASHTO 1986, dengan variasi CBR tanah dasar dan variasi beban lalu lintas didapatkan tebal perkerasan total, untuk tipe Granular Roadbase – Structural Surface adalah berkisar 33.5 ~ 60 cm sedangkan untuk tipe Cement Treated Base – Structural Surface, adalah berkisar 28 ~ 55 cm.. Dari hasil analisa data maka didapatkan perbandingan tebal total perkerasan dengan variasi nilai CBR tanah dasar dan beban lalu lintas. Serta didapatkan model matematis yang dapat digunakan untuk memperkirakan tebal total dengan nilai CBR tanah dasar yang lain.

Kata Kunci: curah hujan, CBR tanah dasar, tebal lapis perkerasan, AASHTO

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Perkerasan lentur jalan raya bertujuan untuk memberikan kenyamanan dan keamanan dalam melayani aksesibilitas dan mobilitas bagi para penggunanya. Perkerasan lentur didesain untuk dapat memenuhi kriteria desain yang baik yakni menjamin tercapainya tingkat layanan jalan sepanjang umur rencana perkerasan.

Selain mempunyai tebal total yang efisien, permukaan yang rata, tidak licin serta tahan terhadap beban lalu lintas dan cuaca, perkerasan

jalan juga harus mampu mencegah masuknya air, baik dari luar maupun dari dalam.

Dalam menghitung desain tebal perkerasan lentur salah satu faktor yang perlu diperhatikan adalah faktor kondisi lingkungan, dalam hal ini menyangkut iklim dan curah hujan. Faktor kondisi lingkungan adalah variabel yang mempengaruhi perlemahan kekuatan konstruksi perkerasan. Perkerasan lentur (*flexible pavement*) sangat rawan terhadap serangan air. Pada saat hujan, air masuk ke dalam perkerasan melalui permukaan yang porous bahkan akan sampai ke tanah dasar, sehingga terjadi perlemahan.

Pada musim hujan atau saat hujan, muka air tanah akan tinggi sehingga sudah dipastikan ada perlemahan pada tanah dasar bahkan kemungkinan sebagian atau semua lapis pondasi agregat juga akan terendam. Kondisi ini akan lebih parah lagi bila terjadi beban berlebih sehingga tegangan yang sampai pada tanah dasar melebihi tegangan ijin tanah.

Apabila tidak didukung dengan susunan lapis perkerasan dan komposisi campuran aspal agregat yang tepat, serta drainase yang baik pada perkerasan jalan maka permukaan perkerasan beraspal akan cepat terjadi retakan dan dalam waktu yang relatif singkat akan memengaruhi kerusakan perkerasan secara menyeluruh. Untuk itu keberadaan air harus diperhitungkan sebagai faktor penentu umur perkerasan.

Pada beberapa tahun terakhir kita sering mendengar bahkan membahas tentang perubahan iklim atau yang dikenal dengan climate change. Menurut penelitian dari National Aeronautics and Space Administration (NASA) yang dimuat dalam situsnya, salah satu dampak dari climate change adalah perubahan pola curah hujan dalam skala global. Hal ini menyebabkan terjadinya peralihan, dimana daerah yang awalnya memiliki tingkat curah hujan rendah akan mengalami perubahan tingkat curah hujan menjadi tinggi.

Dalam merencanakan desain tebal perkerasan lentur khususnya menggunakan metode AASHTO (American Association of State Highway Traffic Officials) 1972 dan AASHTO 1986, diperhitungkan aspek curah hujan. Dimana suatu daerah dikategorikan dalam daerah iklim I atau daerah iklim II sesuai dengan tingkat curah hujannya. Daerah iklim I adalah daerah yang memiliki curah hujan kurang dari 900 mm per tahun sedangkan daerah iklim II adalah daerah yang memiliki curah hujan lebih dari 900 mm per tahun. Namun climate change memungkinkan terjadinya peralihan kategori pada suatu tempat dari kategori daerah iklim I menjadi daerah iklim II.

Rumusan Masalah

Dari latar belakang masalah di atas, maka didapat rumusan masalah dalam penelitian ini, yakni: Bagaimanakah pengaruh tingkat curah hujan terhadap desain tebal perkerasan lentur jalan baru untuk suatu daerah yang mengalami perubahan curah hujan dari kategori daerah iklim I ke daerah iklim II ?

Batasan Masalah

Untuk menyederhanakan dan memperjelas permasalahan dalam penelitian ini, maka dalam penelitian ini dibatasi keadaan sebagai berikut :

1. Penelitian ini dilakukan pada desain tebal perkerasan lentur jalan baru.
2. Digunakan variasi nilai CBR tanah dasar untuk perhitungan desain tebal perkerasan lentur jalan baru. Variasi nilai CBR yang digunakan yaitu: 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35%, 40%.
3. Untuk data LHR tidak dihitung secara langsung karena tidak diperlukan dalam perhitungan tetapi peneliti menetapkan nilai beban sumbu standar kumulatif. Penelitian ini menggunakan variasi nilai beban sumbu standar kumulatif untuk perhitungan desain tebal perkerasan lentur jalan baru. Variasi beban sumbu standar kumulatif yang digunakan yaitu: 5.000.000 ESAL, 10.000.000 ESAL, 15.000.000 ESAL, 20.000.000 ESAL dan 25.000.000 ESAL.
4. Untuk perhitungan desain tebal perkerasan lentur jalan baru menggunakan metode AASHTO 1972 dan AASHTO 1986.
5. Menggunakan faktor regional untuk kondisi iklim I < 900 mm/thn dan iklim II > 900 mm/thn dalam perencanaan desain tebal perkerasan lentur jalan baru.
6. Data yang digunakan dalam penelitian ini bersifat asumsi.

Tujuan Penelitian

1. Menghitung tebal desain perkerasan lentur jalan baru menggunakan Metode AASHTO 1972 dan AASHTO 1986 untuk berbagai nilai beban sumbu standar kumulatif dan berbagai nilai CBR tanah dasar pada kondisi iklim I dan iklim II.
2. Membandingkan desain tebal perkerasan lentur jalan baru menggunakan metode AASHTO 1972 dengan variasi beban sumbu standar kumulatif dari kecil sampai besar, nilai CBR dari kecil sampai besar pada curah hujan di daerah iklim I dan daerah iklim II.
3. Membandingkan desain tebal perkerasan lentur jalan baru menggunakan metode AASHTO 1986 dengan variasi beban sumbu standar kumulatif dari kecil sampai besar, nilai CBR dari kecil sampai besar pada curah hujan di daerah iklim I dan daerah iklim II.

Manfaat Penelitian

Melalui penelitian ini diharapkan akan bermanfaat untuk :

1. Dapat menjadi acuan untuk penelitian selanjutnya dalam desain tebal perkerasan lentur jalan baru.
2. Bagi Mahasiswa (Peneliti) sebagai salah satu pembelajaran dan tambahan ilmu mengenai pengaruh tingkat curah hujan terhadap desain tebal perkerasan
3. Sebagai referensi dan bahan pertimbangan bagi perencana dalam merencanakan desain tebal perkerasan jalan baru
4. Menjamin tercapainya tingkat layanan jalan sepanjang umur rencana perkerasan jalan.

LANDASAN TEORI

Struktur Perkerasan

Perkerasan Jalan adalah struktur yang diperuntukkan bagi lalu lintas yang terletak di atas tanah dasar. Pada prinsipnya ada dua jenis perkerasan jalan, masing-masing memiliki kelebihan dan kelemahan atau kekurangannya, yaitu perkerasan lentur (*flexible pavement*) dan perkerasan kaku (*rigid pavement*). Menurut Sukirman (1999), konstruksi perkerasan lentur (*flexible pavement*) yaitu perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat. Lapisan-lapisan perkerasannya bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar.

Konstruksi perkerasan lentur terdiri dari lapisan-lapisan yang diletakkan diatas tanah dasar yang telah dipadatkan. Lapisan-lapisan tersebut berfungsi untuk menerima beban lalu lintas dan menyebarkannya ke lapisan di bawahnya.

Susunan Lapis Perkerasan	Material Pembentuk Campuran
Lapis Permukaan	Aspal
Lapis Pondasi	Aspal / Stabilisasi Bitumen / Stabilisasi Semen / Material Berbutir
Lapis Pondasi Bawah	Stabilisasi Bitumen / Stabilisasi Semen / Material Berbutir
Lapis Tanah Dasar	Stabilisasi Semen / Material Berbutir / Material setempat

Gambar 1. Susunan Lapis Perkerasan Jalan

Tanah Dasar

Tanah dasar adalah tanah asli, atau tanah timbunan biasa, atau tanah galian, yang di atasnya akan digunakan untuk susunan lapis perkerasan jalan. Tanah dasar ada beberapa jenis dan kondisinya, sehingga ada yang langsung

dapat digunakan sebagai bagian perkerasan, dan ada yang perlu di perbaikan terlebih dahulu. Dalam hal perbaikan tanah dasar, juga ada dua hal penting, yaitu tanah asli yang masih dapat digunakan, dan tanah yang harus dibuang karena keberadaannya justru sangat mengganggu. Oleh karena itu, mengetahui kondisi tanah dasar, dan jenis tanah dasar adalah hal yang sangat penting dalam perancangan tebal perkerasan.

Lapis Permukaan (Surface Course)

Lapis permukaan adalah bagian perkerasan jalan yang paling atas, berfungsi sebagai :Lapis perkerasan penahan beban roda, lapisan mempunyai stabilitas tinggi untuk menahan beban roda selama masa pelayanan, lapis kedap air sehingga air hujan yang jatuh di atasnya tidak meresap ke lapisan di bawahnya dan melemahkan lapisan tersebut, lapis aus (*wearing course*) lapisan yang langsung menderita gesekan akibat rem kendaraan sehingga mudah menjadi aus, lapis yang menyebarkan beban ke lapisan bawah sehingga dapat dipikul oleh lapisan lain yang mempunyai daya dukung lebih jelek.

Lapis Pondasi Atas (Base Course)

Lapisan pondasi atas terletak diantara lapis pondasi bawah dan lapis permukaan. Fungsi lapisan pondasi atas antara lain: Bagian perkerasan yang menahan gaya lintang dari beban roda dan menyebarkan beban ke lapisan dibawahnya, sebagai lapisan peresapan untuk lapisan pondasi bawah, bantalan terhadap lapisan permukaan.

Lapis Pondasi Bawah (Subbase Course)

Lapis pondasi bawah terletak antara lapis pondasi atas dan tanah dasar. Lapis pondasi bawah ini berfungsi sebagai :Bagian dari konstruksi perkerasan untuk menyebarkan beban roda ke tanah dasar. Lapisan ini harus cukup kuat mempunyai CBR 20% dan Plastisitas Indeks (PI) $\leq 10\%$, efisiensi penggunaan material; material pondasi bawah relative murah dibandingkan dengan lapisan perkerasan diatasnya, mengurangi tebal lapisan di atasnya yang lebih mahal, lapisan peresapan agar air tanah tidak berkumpul di pondasi, lapisan pertama agar perkerjaan dapat berjalan lancar, lapisan untuk mencegah partikel-partikel halus dari tanah dasar naik ke lapis pondasi atas.

Indeks Permukaan (IP)

Indeks permukaan ini menyatakan nilai ketidakrataan dan kekuatan perkerasan yang

berhubungan dengan tingkat pelayanan bagi lalu lintas yang lewat.

Adapun beberapa nilai IP beserta artinya seperti dibawah ini :

IP = 2,5 menyatakan permukaan jalan masih cukup stabil dan baik

IP = 2,0 menyatakan tingkat pelayanan terendah bagi jalan yang masih mantap

IP = 1,5 menyatakan tingkat pelayanan terendah yang masih mungkin (jalan tidak terputus)

IP = 1,0 menyatakan permukaan jalan dalam keadaan rusak berat sehingga sangat mengganggu lalu lintas kendaraan.

Tabel 1 Indeks Permukaan pada Akhir Umur Rencana (IP_t)

Klasifikasi Jalan			
Lokal	Kolektor	Arteri	Bebas hambatan
1,0 – 1,5	1,5	1,5 – 2,0	-
1,5	1,5 – 2,0	2,0	-
1,5 – 2,0	2,0	2,0 – 2,5	-
-	2,0 – 2,5	2,5	2,5

Sumber: Bina Marga 2002 hal 8

Tabel 2 Indeks Permukaan pada Awal Umur Rencana (IP₀)

Jenis Lapis Perkerasan	IP ₀	Ketidakrataan *) (IRI, m/km)
LASTON	≥ 4	≤ 1,0
	3,9 – 3,5	> 1,0
LASBUTAG	3,9 – 3,5	≤ 2,0
	3,4 – 3,0	> 2,0
LAPEN	3,4 – 3,0	≤ 3,0
	2,9 – 2,5	> 3,0

Sumber: Bina Marga 2002 hal 8

Umur Rencana

Umur rencana perkerasan jalan ialah jumlah tahun dari saat jalan tersebut dibuka untuk lalu-lintas kendaraan sampai diperlukan suatu perbaikan yang bersifat structural (sampai diperlukan overlay lapisan perkerasan). Selama umur rencana tersebut pemeliharaan perkerasan jalan tetap harus dilakukan, seperti pelapisan nonstruktural yang berfungsi sebagai lapis aus.

Umur rencana untuk perkerasan lentur jalan baru umumnya diambil 20 tahun dan untuk peningkatan jalan 10 tahun. Umur rencana yang lebih besar dari 20 tahun tidak lagi ekonomis karena perkembangan lalu lintas yang telalu

besar dan sukar mendapatkan ketelitian yang memadai (tambahan tebal lapisan perkerasan menyebabkan biaya awal yang cukup tinggi).

Lalu Lintas

Lalu lintas merupakan salah satu faktor utama dalam perancangan perkerasan jalan. Data-data yang diperlukan adalah beban sumbu, konfigurasi sumbu, jumlah lintasan kendaraan, faktor ekivalen dan faktor pertumbuhan lalu lintas.

Prosedur AASHTO adalah membuat konversi semua jenis kendaraan terhadap beban sumbu standar atau ESAL (Equivalent Single Axle Load) yang pada umumnya digunakan beban standar sumbu tunggal 18-kip. Untuk kebutuhan ini, diperlukan nilai Faktor Ekivalen Beban Sumbu (Axle Load Equivalency Factors) yang telah disediakan oleh AASHTO, yang terdiri dari Axle Load, pt (2,0-3,0) dan SN.

Reliabilitas (Keandalan)

Konsep reliabilitas merupakan upaya untuk menyertakan derajat kepastian (degree of certainly) ke dalam proses perencanaan untuk menjamin bermacam-macam alternatif perencanaan akan bertahan selama selang waktu yang direncanakan.

Reliabilitas adalah peluang, atau kemungkinan, bahwa kemampuan pelayanan perkerasan jalan akan terjaga sampai pada tingkat yang masih dapat diterima oleh pengguna jalan, terhadap kinerja perkerasan jalan secara keseluruhan.

Tabel 3. Rekomendasi Tingkat Reliabilitas untuk Berbagai Klasifikasi Jalan

Klasifikasi Jalan	Rekomendasi Tingkat Reliabilitas	
	Perkotaan	Antar Kota
Jalan Nasional & Bebas Hambatan	85 – 99,9	80 – 99,9
Arteri primer (nasional&propinsi)	80 – 99	75 – 95
Kolektor (nasional&propinsi)	80 – 95	75 – 95
Lokal (kabupaten/kota)	50 – 80	50 – 80

Untuk tingkat reliabilitas (R) yang diberikan, reliability factor merupakan fungsi dari deviasi standar keseluruhan (overall standard deviation, S₀) yang memperhitungkan kemungkinan persamaan desain perkerasan lentur. Deviasi standar (S₀) harus dipilih yang mewakili kondisi setempat. Rantang nilai S₀ adalah 0,40 s/d 0,50 untuk perkerasan lentur dan 0,35 s/d 0,40 untuk perkerasan kaku. Dalam persamaan desain perkerasan lentur, reliabilitas (ZR)

diakomodasi dengan parameter penyimpangan normal standar (standard normal deviate, Z_R).

Tabel 4. Nilai Penyimpangan Normal Standar untuk Tingkat Reliabilitas Tertentu (Z_R)

Reliabilitas, R (%)	Standar Normal Deviate, Z_R
50	0,000
60	-0,253
70	-0,524
75	-0,674
80	-0,841
85	-1,037
90	-1,282
91	-1,340
92	-1,405
93	-1,476
94	-1,555
95	-1,645
96	-1,751
97	-1,881
98	-2,054
99	-2,327
99,9	-3,090
99,99	-3,750

Metode Perhitungan Tebal Perkerasan

Metode AASHTO 1972

$$\text{Log}(N_{\text{desain}}) = 9,36 \text{Log} \left(\frac{\text{ITP 2 atau 3 atau 4}}{2,54} + 1 \right) - 0,2 + \left[\frac{\text{Log} \left(\frac{\text{IPo} - \text{IPt}}{4,2 - 1,5} \right)}{0,4 + \left(\frac{\text{ITP 2 atau 3 atau 4}}{2,54} + 1 \right)^{5,19}} \right] + \text{Log} \left(\frac{1}{\text{RF}} \right) + 0,372((4,3 \text{Log CBR Lapisan Tertentu} + 1,7) - 3) \quad (1)$$

Prinsip perhitungan tebal perkerasan metode AASHTO 1972:

- ITP 2 dihitung dari data CBR base dan hasil ITP 2 akan digunakan untuk menghitung % umur rencana (UR) lapis surface.
- ITP 3 dihitung dari data CBR sub base dan hasil ITP 3 akan digunakan untuk menghitung % umur rencana (UR) lapis Base.
- ITP 4 dihitung dari data CBR sub grade dan hasil ITP 4 akan digunakan untuk menghitung % umur rencana (UR) lapis sub base.

Faktor Regional

Tabel 5. Faktor Regional

	Kelandaian I (< 6%)		Kelandaian II (6-10%)		Kelandaian III (> 10%)	
	% kendaraan berat		% kendaraan berat		% kendaraan berat	
	≤30%	≥30%	≤30%	≥30%	≤30%	≥30%
Iklim I < 900 mm/th	0,5	1,0-1,5	1,0	1,5-2,0	1,5	2,0-2,5
Iklim II > 900 mm/th	1,5	2,0-2,5	2,0	2,5-3,0	2,5	3,0-3,5

Koefisien Kekuatan Relatif.

Tabel 6. Koefisien Kekuatan Relatif

Koefisien Kekuatan Relatif			Kekuatan Bahan			Jenis Bahan
a1	a2	a3	MS (kg)	Kt (kg/cm)	CBR (%)	
0,40	-	-	744	-	-	Laston
0,35	-	-	590	-	-	
0,35	-	-	454	-	-	
0,30	-	-	340	-	-	
0,35	-	-	744	-	-	Lasbutag
0,31	-	-	590	-	-	
0,28	-	-	454	-	-	
0,26	-	-	340	-	-	
0,30	-	-	340	-	-	HRA
0,26	-	-	340	-	-	Aspal macadam
0,25	-	-	-	-	-	Lapen (mekanis)
0,20	-	-	-	-	-	Lapen (manual)
-	0,28	-	590	-	-	Laston Atas
-	0,26	-	454	-	-	
-	0,24	-	340	-	-	Lapen (mekanis)
-	0,23	-	-	-	-	
-	0,19	-	-	-	-	Lapen (manual)
-	0,15	-	-	22	-	Stab. Tanah dengan semen
-	0,13	-	-	18	-	
-	0,15	-	-	22	-	Stab. Tanah dengan kapur
-	0,13	-	-	18	-	
-	0,14	-	-	-	-	100 Batu pecah (kelas A)
-	0,13	-	-	-	-	80 Batu pecah (kelas B)
-	0,12	-	-	-	-	60 Batu pecah (kelas C)
-	-	0,13	-	-	-	70 Sirtu/pitrun (kelas A)
-	-	0,12	-	-	-	50 Sirtu/pitrun (kelas B)
-	-	0,11	-	-	-	30 Sirtu/pitrun (kelas C)
-	-	0,10	-	-	-	20 Tanah/lempung kepasiran

Dengan menggunakan rumus :

$$\text{ITP} = a1 D1 + a2 D2 + a3 D3 \quad (2)$$

dapat diperoleh tebal masing-masing lapisan

Adapun tebal minimum dari masing-masing lapis perkerasan dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 7. Tebal Minimum Perkerasan

1. Lapis Permukaan

ITP	Tebal Minimum (cm)	Bahan
< 3,00	5	Lapisan pelindung, BURAS, BURTU/BURDA
3,00 – 6,70	5	LAPEN/aspal macadam, HRA, asbuton, LASTON
6,71 – 7,49	7,5	LAPEN/ aspal macadam, HRA, asbuton, LASTON
7,50 – 9,99	7,5	Asbuton, LASTON
> 10,00	10	LASTON

2. Lapis Pondasi Atas

ITP	Tebal Minimum (cm)	Bahan
< 3,00	15	Batu pecah, Stabilitas tanah dengan semen, stabilitas tanah dengan kapur
3,00 – 7,49	20	Batu pecah, stabilitas tanah dengan semen, stabilitas tanah dengan kapur.
	10	LASTON ATAS
7,90 – 9,99	20 *)	Batu pecah, stabilitas tanah dengan semen, stabilitas tanah dengan kapur, pondasi Macadam
	15	LATON ATAS
10,00 – 12,24	20	Batu pecah, stabilitas tanah dengan semen, stabilitas tanah dengan kapur, pondasi macadam, LAPEN, LASTON ATAS
>12,15	25	Batu pecah, stabilitas tanah dengan semen, stabilitas tanah dengan kapur, pondasi macadam, LAPEN, LASTON ATAS.

3. Lapis Pondasi Bawah

Untuk setiap nilai ITP bila digunakan pondasi bawah, tebal minimum adalah 10 cm.

Metode AASHTO 1986

Perhitungan Nilai Structural Number (SN)

SN dapat dihitung dengan menggunakan nomogram atau menggunakan rumus berikut ini:

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R \times S_0 + 9,36 \times \log_{10}(SN+1) - 0,20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4,2-1,5} \right]}{0,40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5,19}}} + 2,32 \times \log_{10}(M_R) - 8,07 \quad (3)$$

Dimana:

W_{18} = Kumulatif beban sumbu standar ekuivalen 18-kip (ESAL)

Z_R = Deviasi normal standar

S_0 = Deviasi standar keseluruhan (0,40 ~ 0,50)

SN = *Structural Number*, angka struktural relatif perkerasan (cm)

ΔPSI = Perbedaan antara IP_0 dan IP_t

M_R = Modulus resilien (psi)

Perhitungan Tebal Perkerasan

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3 \quad (4)$$

dimana:

SN = Structural Number, angka struktural relatif perkerasan (cm)

a_1, a_2, a_3 = Koefisien kekuatan relatif bahan untuk lapis permukaan (a_1), lapis pondasi atas (a_2), lapis pondasi bawah (a_3).

D_1, D_2, D_3 = Tebal masing-masing lapis perkerasan cm, untuk lapis permukaan (D_1), lapis pondasi atas (D_2), lapis pondasi bawah (D_3).

m_2, m_3 = Koefisien drainase untuk lapis pondasi atas (m_2), dan lapis pondasi bawah (m_3).

$$D_1 = SN_1 / a_1 \quad (5)$$

D_1^* (tebal rencana setelah dibulatkannya nilai D_1)

$$SN_1^* = a_1 \times D_1^* \geq SN_1 \quad (6)$$

$$D_2 = SN_2 - SN_1^* / a_2 m_2 \quad (7)$$

D_2^* (tebal rencana setelah dibulatkannya nilai D_2)

$$SN_2^* = a_2 \times D_2^* \times m_2 \quad (8)$$

$$SN_1^* + SN_2^* \geq SN_2 \quad (9)$$

$$D_3 = \{SN_3 - (SN_1^* + SN_2^*)\} / a_3 m_3 \quad (10)$$

D_3^* (tebal rencana setelah dibulatkannya nilai D_3)

$$SN_3^* = a_3 \times D_3^* \times m_3 \quad (11)$$

$$SN_1^* + SN_2^* + SN_3^* \geq SN_3 \quad (12)$$

Keterangan:

a_1, a_2, a_3 = Koefisien kekuatan relatif bahan

D_1, D_2, D_3 = Tebal lapis perkerasan awal (cm)

D_1^*, D_2^*, D_3^* = Tebal lapis perkerasan rencana (cm)

SN_1, SN_2, SN_3 = Structural Number awal yang diperoleh dengan cara coba-coba

Tabel 8. Minimum Tebal Lapis Perkerasan.

Lalu Lintas (ESAL)	Lapis Beraspal (inch)	Pondasi Agregat (inch)
Kurang dari 50.000	1.0	4.0
50.001 – 150.000	2.0	4.0
150.001 – 500.000	2.5	4.0
500.001 – 2.000.000	3.0	6.0
2.000.001 – 7.000.000	3.5	6.0
Lebih Besar dari 7.000.000	4.0	6.0

Koefisien Drainase

Dalam AASHTO 1986 diperkenalkan konsep koefisien drainase untuk mengakomodasi

kualitas sistem drainase yang dimiliki perkerasan jalan.

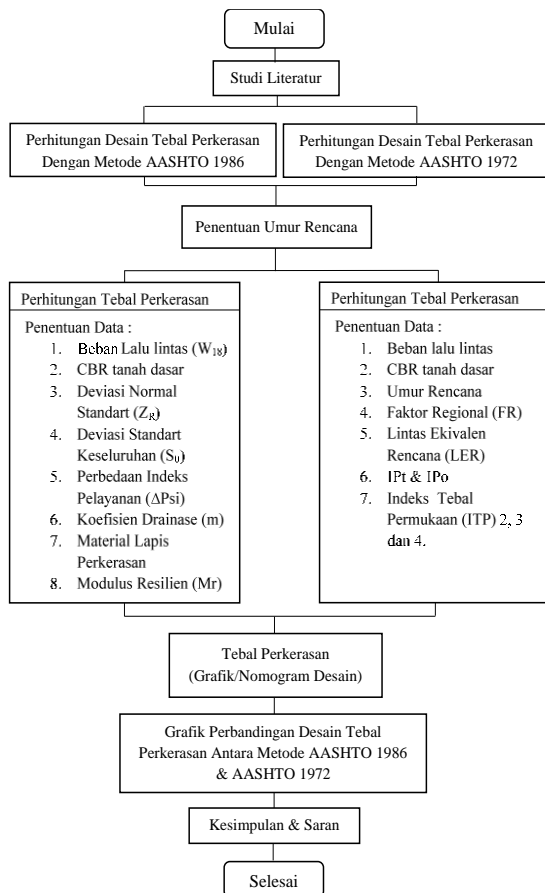
Kualitas drainase pada perkerasan lentur diperhitungkan dalam perencanaan dengan menggunakan koefisien kekuatan relatif yang dimodifikasi. Faktor untuk memodifikasi koefisien kekuatan relatif ini adalah koefisien drainase (m) dan disertakan ke dalam persamaan Structural Number (SN) bersama-sama dengan koefisien kekuatan relatif (a) dan ketebalan (D).

Tabel 9. Koefisien Drainase (m)

Kualitas drainase	Persen waktu struktur perkerasan dipengaruhi oleh kadar air yang mendekati jenuh			
	< 1%	1 – 5%	5 – 25%	> 25%
Baik sekali	1,40 – 1,30	1,35 – 1,30	1,30 – 1,20	1,20
Baik	1,35 – 1,25	1,25 – 1,15	1,15 – 1,00	1,00
Sedang	1,25 – 1,15	1,15 – 1,05	1,00 – 0,80	0,80
Jelek	1,15 – 1,05	1,05 – 0,80	0,80 – 0,60	0,60
Jelek sekali	1,05 – 0,95	0,80 – 0,75	0,60 – 0,40	0,40

METODOLOGI PENELITIAN

Diagram Alir Penelitian



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Studi Literatur

Sebelum melakukan penelitian ini, penulis melakukan studi literatur di dalamnya penulis mempelajari setiap referensi yang berkaitan dengan judul penelitian. Metode AASHTO 1972 dan AASHTO 1986 adalah referensi utama dalam penelitian ini. Dengan mengambil buku-buku lain dan jurnal penelitian di bidang teknik sipil menjadi referensi tambahan bagi penulis dalam menyelesaikan penelitian ini.

Pengumpulan Data

Data yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah bersifat asumsi. Dimana peneliti menggunakan variasi data nilai CBR tanah dasar yaitu 5%, 10%, 15%, 20%, 25 %, 30%, 35% dan 40% serta variasi beban sumbu standart yaitu 5 juta ESAL, 10 juta ESAL, 15 juta ESAL, 20 juta ESAL, 25 juta ESAL. Variasi kedua data tersebut untuk mendapatkan perbandingan ketebalan desain perkerasan pada kondisi tanah dasar kurang baik hingga kondisi baik serta pada kondisi beban lalu lintas kategori rendah hingga kategori tinggi. Untuk data yang lain disesuaikan dengan keperluan penelitian.

PRESENTASI DAN ANALISA DATA

Perhitungan Desain Tebal Perkerasan Dengan Metode AASHTO 1972

- Beban Lalu lintas yang digunakan = 5.000.000 ESAL – 25.000.000 ESAL dengan kenaikan sebesar 5.000.000 ESAL.
- Nilai CBR *subgrade* yang digunakan = 5 % - 40% dengan kenaikan sebesar 5%.
- Dalam penelitian ini digunakan nilai indeks tebal perkerasan awal (IP_0) sebesar = 4,0 dan nilai indeks tebal perkerasan akhir (IP_t) sebesar = 2,5.
- Faktor regional yakni daerah iklim I dengan tingkat curah < 900 mm/th digunakan FR = 1 dan daerah dengan tingkat curah hujan > 900 mm/th digunakan FR = 1,5.
- Material Lapis Perkerasan:
 - a. Lapis permukaan (surface) menggunakan Laston dengan MS = 744 kg
 - b. Lapis pondasi atas (Base) menggunakan batu pecah kelas A dengan CBR = 100 %
 - c. Lapis pondasi bawah (Sub-base) menggunakan sirtu kelas B, dengan nilai CBR 50%.

Perhitungan nilai ITP 2,3 dan 4

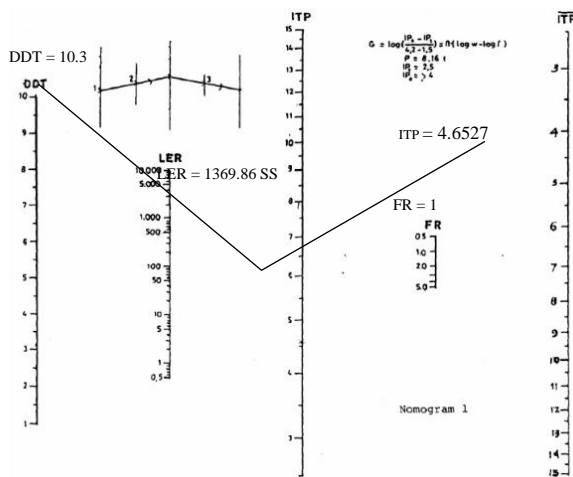
Untuk menghitung nilai ITP 2,3 dan 4 menggunakan rumus umum metode AASHTO 1972 (Rumus 1)

- ITP 2 : ITP 2 dihitung dari data CBR base. di dapat :

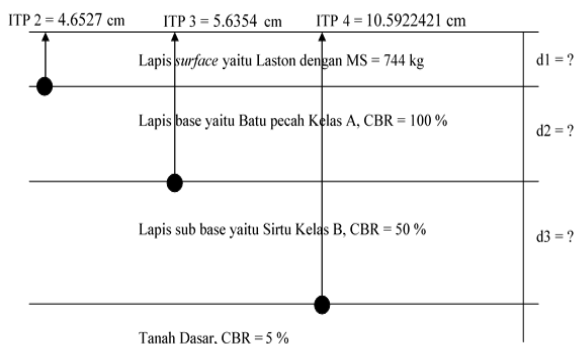
ITP 2 = 4.6527 cm

Menghasilkan N = 5.000.003,41 SS / ESA

Buktikan dengan nomogram hasil ITP 2 desain = 4.6527 cm dan menghasilkan N desain = 5.000.003,41 SS atau ESA, LER = 1369.86 SS/Hari, DDT Base = 4,3 Log CBR Base + 1,7 CBR Base = 100 % maka DDT = 10,3



Dengan cara yang sama, hitung nilai ITP 3 & ITP 4. Maka didapatkan hasil :



Gambar 3. Gambar Lapis perkerasan d1,d2,d3

Strategi perhitungan tebal perkerasan

Dari hasil perhitungan menggunakan 3 strategi perhitungan tebal perkerasan, maka peneliti memilih menggunakan strategi memaksimalkan lapis pondasi bawah (*sub-base*).

- Surface = dihitung dengan rumus ITP 2, mengikuti aturan prinsip dasar
- Base = dihitung dengan rumus ITP 3, mengikuti aturan prinsip dasar
- Sub Base = dihitung dengan rumus ITP 4, mengikuti aturan ITP terbesar

Gambar 4. Strategi memaksimalkan lapis pondasi bawah (*sub-base*)

ITP 4 desain = a1.d1 + a2.d2 + a3.d3
 dimana :
 a1 = nilai koefisien kekuatan relatif untuk lapis permukaan (surface).
 a2 = nilai koefisien kekuatan relatif untuk lapis pondasi atas (base).
 a3 = nilai koefisien kekuatan relatif untuk lapis pondasi bawah (sub base).

d1 min = 10 cm,
 d2 min = 20 cm,
 d3 min = 10 cm.
 a1 = 0.4 a2 = 0.14 a3 = 0.12

- Surface (d1):
 ITP 2 desain = a1 x d1
 4.6527 cm = 0.4 x d1
 d1 = 4.6527 cm / 0.4
 d1 = 11.63175 cm
 d1 = 12 cm
- Base (d2):
 ITP 3 desain = a1.d1 + a2.d2
 5.6354 cm = 0.4 x 12 cm + 0.14 x d2
 5.6354 cm = 4.8 cm + 0.14 x d2
 0.14 x d2 = 5.6354 cm - 4.8 cm
 0.14 x d2 = 0.8354 cm
 d2 = 0.8354 cm / 0.14
 d2 = 5.9671 cm
 Di pakai nilai d2 minimum sesuai syarat AASHTO 1972
 d2 = 20 cm
- Sub - Base (d3) :
 ITP 4 desain = a1.d1+a2.d2+a3.d3
 10.5922421 cm = 0.4 x 12 cm + 0.14 x 20 + 0.12 x d3
 10.5922421 cm = 4.8 cm + 2.8 + 0.12 x d3
 10.5922421 cm = 7.6 cm + 0.12 x d3
 0.12 x d3 = 10.5922421 cm - 7.6 cm
 0.12 x d3 = 2.9922421 cm
 d3 = 2.9922421 cm / 0.12
 d3 = 24.935 cm
 d2 = 25 cm

Dtotal = d1 + d2 + d3
 Dtotal = 12 cm + 20 cm + 25 cm
 Dtotal = 57 cm

Dengan rumus dan cara yang sama dilakukan perhitungan tebal perkerasan lentur jalan baru menggunakan metode AASHTO 1972 dengan mengganti data-data seperti faktor regional, data lalu lintas, CBR dari masing-masing bahan perkerasan, CBR tanah dasar dan mencoba-coba nilai ITP 2, 3 & 4, maka akan keluar hasil tebal perkerasan lentur jalan baru yang dibutuhkan mulai dari lapis permukaan (surface) lapis pondasi atas (base) dan lapis pondasi bawah (subbase) untuk berbagai variasi, yang dapat dilihat pada tabel rekapitulasi dibawah ini :

Tabel 10. Rekapitulasi Tebal D1,D2,D3 untuk berbagai variasi Nilai CBR subgrade dan Beban Sumbu Standar Untuk Faktor Regional = 1

FAKTOR REGIONAL : 1	NILAI CBR SUBGRADE								
	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	
5.000.000 ESAL	D1	11.63175	11.63175	11.63175	11.63175	11.63175	11.63175	11.63175	
	D2	5.967142857	5.967142857	5.967142857	5.967142857	5.967142857	5.967142857	5.967142857	
	D3	24.93530583	9.8961868	2.102644642	-2.918706917	-6.53100475	-9.310844008	-11.54902789	-13.141021859
	D TOTAL	12	12	12	12	12	12	12	12
10.000.000 ESAL	D1	13.11785775	13.11785775	13.11785775	13.11785775	13.11785775	13.11785775	13.11785775	
	D2	6.758440271	6.758440271	6.758440271	6.758440271	6.758440271	6.758440271	6.758440271	
	D3	30.16666667	14.07964603	5.461590567	-0.19388075	-4.291584025	-7.450697775	-9.992426563	-12.10225823
	D TOTAL	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5
15.000.000 ESAL	D1	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	
	D2	20	20	20	20	20	20	20	
	D3	31	14.5	5.5	0	0	0	0	
	D TOTAL	64.5	48	39	33.5	33.5	33.5	33.5	33.5
20.000.000 ESAL	D1	15.5	15.5	15.5	15.5	15.5	15.5	15.5	
	D2	20	20	20	20	20	20	20	
	D3	36	19	10	3.5	0	0	0	
	D TOTAL	71	54	45	38.5	35	35	35	35
25.000.000 ESAL	D1	15.5	15.5	15.5	15.5	15.5	15.5	15.5	
	D2	20	20	20	20	20	20	20	
	D3	37	20	11	5.5	0	0	0	
	D TOTAL	73.5	56.5	47	40.5	36	35.5	35.5	35.5

Tabel 11. Rekapitulasi Tebal D1,D2,D3 untuk berbagai variasi Nilai CBR subgrade dan Beban Sumbu Standar Untuk Faktor Regional = 1.5

FAKTOR REGIONAL : 1.5	NILAI CBR SUBGRADE								
	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	
5.000.000 ESAL	D1	12.48225908	12.48225908	12.48225908	12.48225908	12.48225908	12.48225908	12.48225908	
	D2	7.43414342	7.43414342	7.43414342	7.43414342	7.43414342	7.43414342	7.43414342	
	D3	28.18613075	13.50458517	5.211232117	-0.183138833	-4.0755985	-7.0715964	-9.481923392	-11.48272333
	D TOTAL	62	46.5	38	32.5	32.5	32.5	32.5	32.5
10.000.000 ESAL	D1	14.0639984	14.0639984	14.0639984	14.0639984	14.0639984	14.0639984	14.0639984	
	D2	7.174084593	7.174084593	7.174084593	7.174084593	7.174084593	7.174084593	7.174084593	
	D3	33.04013075	16.45640093	7.43487225	1.434647175	-2.950198	-6.34595797	-9.083844925	-11.35805183
	D TOTAL	69	51	42	36	34.5	34.5	34.5	34.5
15.000.000 ESAL	D1	15.0752886	15.0752886	15.0752886	15.0752886	15.0752886	15.0752886	15.0752886	
	D2	7.843517336	7.843517336	7.843517336	7.843517336	7.843517336	7.843517336	7.843517336	
	D3	36.08836653	19.03583219	9.672797287	3.399132642	-1.283794325	-4.912183925	-7.850440942	-10.29729008
	D TOTAL	68	55	45	39	38.5	38.5	38.5	38.5
20.000.000 ESAL	D1	15.83785791	15.83785791	15.83785791	15.83785791	15.83785791	15.83785791	15.83785791	
	D2	9.0820066	9.0820066	9.0820066	9.0820066	9.0820066	9.0820066	9.0820066	
	D3	39.05575725	21.67302989	12.09694034	5.60832433	2.782397942	-3.000789192	-6.077383428	-8.6470261
	D TOTAL	75.5	58	48.5	42	37	36	36	36
25.000.000 ESAL	D1	16.4566189	16.4566189	16.4566189	16.4566189	16.4566189	16.4566189	16.4566189	
	D2	9.819683848	9.819683848	9.819683848	9.819683848	9.819683848	9.819683848	9.819683848	
	D3	41.04786528	23.40318788	13.67270077	7.051924075	2.108051667	-1.786289483	-4.964808408	-7.627104629
	D TOTAL	81.5	60	50.5	44	39	38.5	38.5	38.5

Perhitungan Desain Tebal Perkerasan Dengan Metode AASHTO 1986

Data-data yang digunakan:

- W18 = 5.000.000 ESAL – 25.000.000 ESAL dengan kenaikan sebesar 5.000.000ESAL.
- CBR Subgrade:

Tabel 12. Klasifikasi Nilai CBR Tanah Dasar Beserta Nilai MR

No	Kekuatan Tanah Dasar / CBR (%)	Modulus Resilien (MR = 2555 x CBR ^{0.64}) (psi)
1	5	7157.011 ≈ 7200
2	10	11152.98 ≈ 12000
No	Kekuatan Tanah Dasar / CBR (%)	Modulus Resilien (MR = 1500 x CBR) (psi)
3	15	22.500
4	20	30.000
5	25	37.500
6	30	45.000
7	35	52.500
8	40	60.000

R = 95%

ZR = -1,645

ΔPSI = 1,7

S0 = 0,45

EAC = 400.000 psi;

a1 = 0,42 (Laston)

EBS = 30.000 psi;

a2 = 0,14 (LPA kelas A)

ESB = 18.000 psi;

a3 = 0,13 (LPA kelas B)

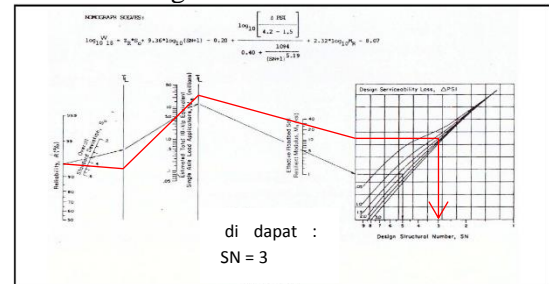
m2 = 1,2;

m3 = 1,2

Perhitungan Nilai SN (Structural Number)

Perhitungan SN dapat dilakukan dengan 2 cara, yaitu dengan menggunakan nomogram, dan dengan cara coba-coba (trial and error). Berikut contoh perhitungan SN dari kedua cara tersebut.

1. Cara Nomogram



2. Cara Coba-coba:

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R \times S_0 + 9,36 \times \log_{10} \left(\frac{SN}{2,54} + 1 \right) - 0,20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4,2 - 1,5} \right]}{0,40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5,19}}}$$

$$+ 2,32 \times \log_{10} (M_R) - 8,07$$

$$\log_{10}(W_{18}) = \log_{10}(5 \times 10^6) = 6,699$$

Coba-coba nilai SN dan dimasukkan ke rumus ruas kanan. Bila hasil ruas kanan sudah mendekati (dengan selisih $\leq 0,01\%$) atau sama dengan ruas kiri maka perhitungan nilai SN dihentikan, dan nilai SN itulah yang dipakai. Hitung nilai SN dengan cara yang sama untuk lapisan berikutnya.

	log10 (W18)	SN1	Hasil
1	6,699	6	6.2229
2	6,699	7	6.6254
3	6,699	7.19976	6.699

Nilai SN yang diperoleh menggunakan cara nomogram adalah 3 (dalam satuan inch) jika disalin dalam satuan centimeter menjadi 7.62, sedangkan nilai SN yang diperoleh menggunakan cara coba-coba adalah 7.19976 cm. Nilai SN yang diperoleh dengan cara coba-coba lebih akurat dibandingkan dengan cara nomogram, karena nomogram hanya bisa diperoleh satu angka desimal. Bila menggunakan cara coba-coba, bisa diperoleh angka desimal sesuai yang diinginkan.

Perhitungan Tebal Lapis Perkerasan

Dari cara coba - coba diperoleh nilai SN1 7.19976. Setelah itu gunakan rumus untuk menghitung tebal lapis permukaan / lapis beraspal (D1) dengan menggunakan data-data seperti pada contoh diatas.

$$D1 = SN1/a1$$

$$= 7.19976 / 0,42$$

$$= 17.142 \text{ cm}$$

Tebal rencana setelah dibulatkannya nilai D1 adalah :

$$D1^* = 17.5 \text{ cm}$$

(Memenuhi syarat minimum tebal lapis perkerasan).

Kemudian kontrol nilai SN setelah dibulatkannya nilai D1 menggunakan rumus seperti dibawah ini:

$$SN1^* = a1 \times D1^* \geq SN1$$

$$= 0,42 \times 17.5 \geq 7.19976$$

$$= 7.35 \geq 7.19976 \dots \text{OK}$$

- Lapis Pondasi Atas

Dengan cara coba-coba di dapat

$$SN2 = 8.75876$$

$$D2 = SN2 - SN1^* / a2m2$$

$$= 8.75876 - 7.35 / 0.14 \times 1.2$$

$$= 8.385 \text{ cm}$$

Tebal setelah dibulatkannya nilai D2 adalah :

$$D2^* = 8.5 \text{ cm}$$

(Tidak memenuhi syarat minimum tebal lapis perkerasan) Maka digunakan tebal minimum.

$$D2^* = 15 \text{ cm}$$

$$SN2^* = a2 \times D2^* \times m2$$

$$= 0.14 \times 15 \times 1.2$$

$$= 2.52$$

Kontrol :

$$SN1^* + SN2^* \geq SN2$$

$$7.35 + 2.52 \geq 8.75876$$

$$9.87 \geq 8.75876 \dots \text{OK}$$

- Lapis Pondasi Bawah

Dengan cara coba-coba di dapat nilai SN3 = 12.22175

$$D3 = \{SN3 - (SN1^* + SN2^*)\} / a3m3$$

$$D3 = \{12.22175 - (7.56 + 2.52)\} / 0.13 \times 1.2$$

$$D3 = \{12.22175 - 10.08\} / 0.156$$

$$D3 = 15.075 \text{ cm}$$

Tebal setelah dibulatkannya nilai D3 adalah :

$$D3^* = 15.5 \text{ cm}$$

(Memenuhi syarat minimum tebal lapis perkerasan)

$$SN3^* = a3 \times D3^* \times m3$$

$$SN3^* = 0.13 \times 15.5 \times 1.2$$

$$SN3^* = 2.418$$

Kontrol :

$$SN1^* + SN2^* + SN3^* \geq SN3$$

$$7.35 + 2.53 + 2.418 \geq 12.22175$$

$$12.298 \geq 12.221 \dots \text{OK}$$

Maka didapat tebal total (D1*+D2*+D3*)

$$= 17.5 \text{ cm} + 15 \text{ cm} + 15.5 \text{ cm}$$

$$= 48 \text{ cm}$$

Dengan rumus dan cara yang sama menggunakan bantuan program Ms.Excel dilakukan perhitungan tebal perkerasan lentur jalan baru menggunakan metode AASHTO 1986 dengan mengganti data-data seperti W_{18} , R, S_0 , Δ PSI, CBR dari masing-masing bahan perkerasan, CBR tanah dasar, serta m sesuai keinginan, dan mencoba-coba nilai SN, maka akan keluar hasil tebal perkerasan lentur jalan baru yang dibutuhkan mulai dari lapis permukaan (*surface*) lapis pondasi atas (base) dan lapis pondasi bawah (subbase) untuk berbagai variasi, yang dapat dilihat pada tabel-tabel dibawah ini:

Tabel 13. Rekapitulasi Tebal D1,D2,D3 untuk berbagai variasi Niai CBR subgrade dan Beban Sumbu Standar (Tipe Granular Roadbase - Structural Surface)

		Nilai CBR Subgrade							
		5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%
5.000.000 ESAL	D1	17.14228571	17.14228571	17.14228571	17.14228571	17.14228571	17.14228571	17.14228571	17.14228571
	D2	8.38547619	8.38547619	8.38547619	8.38547619	8.38547619	8.38547619	8.38547619	8.38547619
	D3	13.99839744	2.746474399	-12.79179487	-18.19384615	-21.99717949	-24.875	-27.16160256	-29.04307692
	D1*	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5
	D2*	16	16	16	16	16	16	16	16
	D3*	14	3	0	0	0	0	0	0
	TOTAL	47.5	36.5	33.5	33.5	33.5	33.5	33.5	33.5
	D1	19.23047619	19.23047619	19.23047619	19.23047619	19.23047619	19.23047619	19.23047619	19.23047619
	D2	9.579940476	9.579940476	9.579940476	9.579940476	9.579940476	9.579940476	9.579940476	9.579940476
	D3	16.72711538	4.8375	-11.95076923	-17.95641026	-22.21429487	-25.4374359	-27.99314103	-30.0900641
D1*	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5	
D2*	16	16	16	16	16	16	16	16	
D3*	17	5	0	0	0	0	0	0	
TOTAL	52.5	40.5	35.5	35.5	35.5	35.5	35.5	35.5	
10.000.000 ESAL	D1	20.5602619	20.5602619	20.5602619	20.5602619	20.5602619	20.5602619	20.5602619	20.5602619
	D2	9.684880952	9.684880952	9.684880952	9.684880952	9.684880952	9.684880952	9.684880952	9.684880952
	D3	17.64102564	5.37231795	-12.07051282	-18.41861538	-22.94782051	-26.39076923	-29.1225641	-31.3625
	D1*	21	21	21	21	21	21	21	21
	D2*	16	16	16	16	16	16	16	16
	D3*	18	5.5	0	0	0	0	0	0
	TOTAL	55	42.5	37	37	37	37	37	37
	D1	21.55133333	21.55133333	21.55133333	21.55133333	21.55133333	21.55133333	21.55133333	21.55133333
	D2	10.01279762	10.01279762	10.01279762	10.01279762	10.01279762	10.01279762	10.01279762	10.01279762
	D3	18.56173077	6.012628205	-11.86929487	-18.43871795	-23.16435897	-26.76692308	-29.63	-31.97852564
D1*	22	22	22	22	22	22	22	22	
D2*	16	16	16	16	16	16	16	16	
D3*	19	6.5	0	0	0	0	0	0	
TOTAL	57	44.5	38	38	38	38	38	38	
15.000.000 ESAL	D1	22.346	22.346	22.346	22.346	22.346	22.346	22.346	22.346
	D2	11.00573214	11.00573214	11.00573214	11.00573214	11.00573214	11.00573214	11.00573214	11.00573214
	D3	20.0775641	7.302884615	-10.91102564	-17.64532051	-22.5158974	-26.24192308	-29.2092377	-31.64519231
	D1*	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5
	D2*	16	16	16	16	16	16	16	16
	D3*	21.5	7.5	0	0	0	0	0	0
	TOTAL	60	46	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5

Tabel 14. Rekapitulasi Tebal D1,D2,D3 untuk berbagai variasi Niai CBR subgrade dan Beban Sumbu Standar (Tipe Cement Treated Base - Structural Surface)

		Nilai CBR Subgrade							
		5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%
5.000.000 ESAL	D1	3.883928571	3.883928571	3.883928571	3.883928571	3.883928571	3.883928571	3.883928571	3.883928571
	D2	13.82988889	13.82988889	13.82988889	13.82988889	13.82988889	13.82988889	13.82988889	13.82988889
	D3	17.19070513	10.55416667	-4.83025641	-10.2323077	-14.035641	-16.9134615	-19.2000641	-21.0815385
	D1*	9	9	9	9	9	9	9	9
	D2*	16	14	19	19	19	19	19	19
	D3*	18	11	0	0	0	0	0	0
	TOTAL	43	34	28	28	28	28	28	28
	D1	4.65027381	4.65027381	4.65027381	4.65027381	4.65027381	4.65027381	4.65027381	4.65027381
	D2	15.55391667	16.72058333	22.80079545	22.80079545	22.80079545	22.80079545	22.80079545	22.80079545
	D3	22.61173077	11.0673077	-5.37384615	-11.3794872	-15.6373077	-18.8605128	-21.4162179	-23.513141
D1*	10	9	9	9	9	9	9	9	
D2*	16	17	23	23	23	23	23	23	
D3*	23	11.5	0	0	0	0	0	0	
TOTAL	49	37.5	32	32	32	32	32	32	
10.000.000 ESAL	D1	5.126309524	5.126309524	5.126309524	5.126309524	5.126309524	5.126309524	5.126309524	5.126309524
	D2	17.35294444	19	25.25401515	25.25401515	25.25401515	25.25401515	25.25401515	25.25401515
	D3	24.1025641	11.06455128	-5.68589744	-12.03	-16.5632051	-20.0060897	-22.7379487	-24.9778846
	D1*	10	9	9	9	9	9	9	9
	D2*	17.5	19	25.5	25.5	25.5	25.5	25.5	25.5
	D3*	24.5	11.5	0	0	0	0	0	0
	TOTAL	52	39.5	34.5	34.5	34.5	34.5	34.5	34.5
	D1	5.476190476	5.476190476	5.476190476	5.476190476	5.476190476	5.476190476	5.476190476	5.476190476
	D2	18.67263889	19.83930556	27.05359848	27.05359848	27.05359848	27.05359848	27.05359848	27.05359848
	D3	24.25403846	12.08967949	-6.17692308	-12.7464103	-17.4720513	-21.0746154	-23.9376923	-26.2882179
D1*	10	9	9	9	9	9	9	9	
D2*	19	20	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	
D3*	24.5	12.5	0	0	0	0	0	0	
TOTAL	53.5	41.5	36.5	36.5	36.5	36.5	36.5	36.5	
15.000.000 ESAL	D1	5.75725	5.75725	5.75725	5.75725	5.75725	5.75725	5.75725	5.75725
	D2	19.71936111	20.88602778	28.48094697	28.48094697	28.48094697	28.48094697	28.48094697	28.48094697
	D3	24.80833333	12.41826923	-5.56487179	-12.2992308	-17.1694231	-20.8957692	-23.8630769	-26.2990385
	D1*	10	9	9	9	9	9	9	9
	D2*	20	21	28.5	28.5	28.5	28.5	28.5	28.5
	D3*	25	12.5	0	0	0	0	0	0
	TOTAL	55	42.5	37.5	37.5	37.5	37.5	37.5	37.5

Perbandingan Hasil Perhitungan Desain Tebal Perkerasan Metode AASHTO 1972 untuk Daerah Iklim I & Daerah Iklim II

Perbandingan hasil perhitungan tebal perkerasan menggunakan metode AASHTO 1972 untuk daerah iklim I (FR = 1) & daerah iklim II (FR = 1.5) dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 15. Perbandingan tebal total perkerasan hasil perhitungan menggunakan metode AASHTO 1972 untuk FR = 1 & FR = 1.5

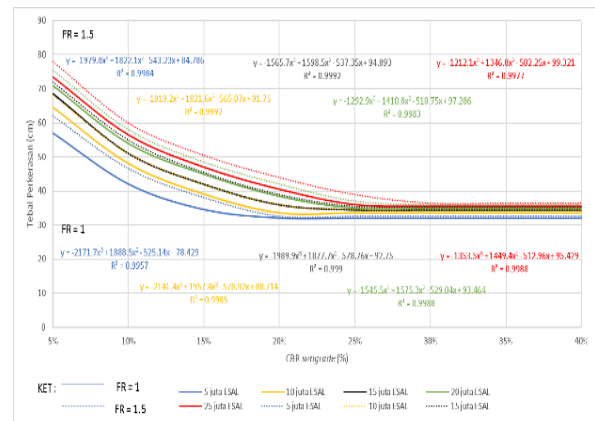
CBR	ESAL	5%		10%		15%		20%		25%		30%		35%		40%	
		FR 1	FR 1.5	FR 1	FR 1.5	FR 1	FR 1.5	FR 1	FR 1.5	FR 1	FR 1.5	FR 1	FR 1.5	FR 1	FR 1.5	FR 1	FR 1.5
5.000.000	57	62	42	46.5	34.5	38	32	32.5	32	32.5	32	32.5	32	32.5	32	32.5	32.5
10.000.000	64.5	68	48	51	39	42	33.5	36	33.5	34.5	33.5	34.5	33.5	34.5	33.5	34.5	34.5
15.000.000	68.5	72	51	55	42	45.5	36	39	34.5	35.5	34.5	35.5	34.5	35.5	34.5	35.5	35.5
20.000.000	71	75.5	54	58	45	48.5	38.5	42	35	37	35	36	35	36	35	36	36
25.000.000	73.5	78	56.5	60	47	50.5	40.5	44	36	39	35.5	36.5	35.5	36.5	35.5	36.5	36.5

*satuan dalam cm

Tabel 16. Komparasi tebal total perkerasan FR = 1 menjadi FR = 1.5

	(Tebal Total Perkerasan FR = 1,5 - Tebal Total Perkerasan FR = 1)							
	5 %	10 %	15 %	20 %	25 %	30 %	35 %	40 %
5.000.000 ESAL	5	4.5	3.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
10.000.000 ESAL	3.5	3	3	2.5	1	1	1	1
15.000.000 ESAL	3.5	4	3.5	3	1	1	1	1
20.000.000 ESAL	4.5	4	3.5	3.5	2	1	1	1
25.000.000 ESAL	4.5	3.5	3.5	3.5	3	1	1	1

Dari hasil perhitungan diatas maka dapat dibuat grafik sebagai berikut:



Gambar 4. Grafik perbandingan tebal total perkerasan dengan metode AASHTO 1972 untuk FR 1 & FR 1.5

Perbandingan Hasil Perhitungan Desain Tebal Perkerasan Metode AASHTO 1986 tipe Granular Roadbase - Structural Surface dengan Metode AASHTO 1972

Tabel 17. Perbandingan tebal perkerasan total hasil perhitungan menggunakan metode AASHTO 1986 untuk tipe Granular Roadbase – Structural Surface dan Cement Treated Base – Structural Surface dengan Metode AASHTO 1972

CBR	5%				10%				15%				20%			
	AASHTO 1972		AASHTO 1986		AASHTO 1972		AASHTO 1986		AASHTO 1972		AASHTO 1986		AASHTO 1972		AASHTO 1986	
ESAL	FR 1	FR 1.5	Granular	CTB	FR 1	FR 1.5	Granular	CTB	FR 1	FR 1.5	Granular	CTB	FR 1	FR 1.5	Granular	CTB
5.000.000	57	62	47,5	43	42	46,5	36,5	34	34,5	38	33,5	28	32	32,5	33,5	28
10.000.000	64,5	68	52,5	49	48	51	40,5	37,5	39	42	35,5	32	33,5	36	35,5	32
15.000.000	68,5	72	55	52	51	55	42,5	39,5	42	45,5	37	34,5	36	39	37	34,5
20.000.000	71	75,5	57	53,5	54	58	44,5	41,5	45	48,5	38	36,5	38,5	42	38	36,5
25.000.000	73,5	78	60	55	56,5	60	46	42,5	47	50,5	38,5	37,5	40,5	44	38,5	37,5

25%				30%				35%				40%			
AASHTO 1972		AASHTO 1986		AASHTO 1972		AASHTO 1986		AASHTO 1972		AASHTO 1986		AASHTO 1972		AASHTO 1986	
FR 1	FR 1.5	Granular	CTB	FR 1	FR 1.5	Granular	CTB	FR 1	FR 1.5	Granular	CTB	FR 1	FR 1.5	Granular	CTB
32	32,5	33,5	28	32	32,5	33,5	28	32	32,5	33,5	28	32	32,5	33,5	28
33,5	34,5	35,5	32	33,5	34,5	35,5	32	33,5	34,5	35,5	32	33,5	34,5	35,5	32
34,5	35,5	37	34,5	34,5	35,5	37	34,5	34,5	35,5	37	34,5	34,5	35,5	37	34,5
35	37	38	36,5	35	36	38	36,5	35	36	38	36,5	35	36	38	36,5
36	39	38,5	37,5	35,5	36,5	38,5	37,5	35,5	36,5	38,5	37,5	35,5	36,5	38,5	37,5

*satuan dalam cm

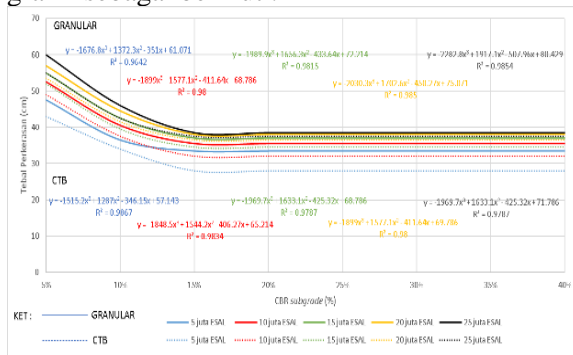
Tabel 18 Komparasi tebal total perkerasan Metode AASHTO 1986 tipe Granular Roadbase – Structural Surface dengan Metode AASHTO 1972 untuk FR = 1

	(Tebal Total Perkerasan Metode AASHTO 86 – Tebal Total Perkerasan Metode AASHTO 72 untuk FR = 1)							
	5 %	10 %	15 %	20 %	25 %	30 %	35 %	40 %
5.000.000 ESAL	-9,5	-5,5	-1	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
10.000.000 ESAL	-12	-7,5	-3,5	2	2	2	2	2
15.000.000 ESAL	-13,5	-8,5	-5	1	2,5	2,5	2,5	2,5
20.000.000 ESAL	-14	-9,5	-7	-0,5	3	3	3	3
25.000.000 ESAL	-13,5	-10,5	-8,5	-2	2,5	3	3	3

Tabel 19. Komparasi tebal total perkerasan Metode AASHTO 1986 tipe Granular Roadbase – Structural Surface dengan Metode AASHTO 1972 untuk FR = 1.5

	(Tebal Total Perkerasan Metode AASHTO 86 – Tebal Total Perkerasan Metode AASHTO 72 untuk FR = 1.5)							
	5 %	10 %	15 %	20 %	25 %	30 %	35 %	40 %
5.000.000 ESAL	-14,5	-10	-4,5	1	1	1	1	1
10.000.000 ESAL	-15,5	-10,5	-6,5	-0,5	1	1	1	1
15.000.000 ESAL	-17	-12,5	-8,5	-2	1,5	1,5	1,5	1,5
20.000.000 ESAL	-18,5	-13,5	-10,5	-4	1	2	2	2
25.000.000 ESAL	-18	-14	-12	-5,5	-0,5	2	2	2

Dari hasil perhitungan diatas maka dapat dibuat grafik sebagai berikut :



PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisa yang dilakukan menggunakan bantuan Ms.Excel, untuk kedua metode didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil desain tebal perkerasan dengan berbagai variasi adalah :

- a. Metode AASHTO 1972, untuk FR = 1 berturut-turut dari beban 5.000.000 ESAL sampai 25.000.000 ESAL dengan kenaikan sebesar 5.000.000 ESAL; Untuk CBR subgrade 5 % tebal perkerasannya adalah 57 cm, 64,5 cm, 68,5 cm, 71 cm dan 73,5 cm. Untuk CBR subgrade 10% tebal perkerasannya adalah 42 cm, 48 cm, 51 cm, 54 cm dan 56,5 cm. Untuk CBR subgrade 15% tebal perkerasannya adalah 34,5 cm, 39 cm, 42 cm, 45 cm dan 47 cm. Untuk CBR subgrade 20% tebal perkerasannya adalah 32 cm, 33,5 cm, 36 cm, 38,5 cm dan 40,5 cm. Untuk CBR subgrade 25% tebal perkerasannya adalah 32 cm, 33,5 cm, 34,5 cm, 35 cm dan 36 cm. Untuk CBR 30%, 35% dan 40% memiliki tebal total yang sama yakni: 32 cm, 33,5 cm, 34,5 cm, 35 cm dan 35,5 cm. Sedangkan untuk FR = 1,5 berturut-turut dari beban 5.000.000 ESAL sampai 25.000.000 ESAL dengan kenaikan sebesar 5.000.000 ESAL ; untuk CBR subgrade 5% tebal perkerasannya adalah 62 cm, 68 cm, 72 cm, 75,5 cm, dan 78 cm. Untuk CBR subgrade 10% tebal perkerasannya adalah 46,5 cm, 51 cm, 55 cm, 58 cm, dan 60 cm. Untuk CBR subgrade 15% tebal perkerasannya adalah 38 cm, 42 cm, 45,5 cm, 48,5 cm, dan 50,5 cm. Untuk CBR subgrade 20% tebal perkerasannya adalah 32,5 cm, 36 cm, 39 cm, 42 cm, dan 44 cm. Untuk CBR subgrade 25% tebal perkerasannya adalah 32,5 cm, 34,5 cm, 35,5 cm, 37 cm, dan 39 cm. Dan Untuk CBR subgrade 30%, 35% dan 40% memiliki tebal total perkerasan yang sama yakni 32,5 cm, 34,5 cm, 35,5 cm, 36 cm, 36,5 cm.

- b. Metode AASHTO 1986, tipe Granular Road Base berturut-turut dari beban 5.000.000 ESAL sampai 25.000.000 ESAL dengan kenaikan sebesar 5.000.000 ESAL; Untuk CBR subgrade 5% tebal perkerasannya adalah 47,5 cm, 52,5 cm, 55 cm, 57 cm dan 60 cm. Untuk CBR

subgrade 10% tebal perkerasannya adalah 36.5 cm, 40.5 cm, 42.5 cm, 44.5 cm dan 46 cm. Untuk CBR 15 %, 20%, 25%, 30%, 35% dan 40% memiliki tebal total yang sama yakni: 33.5 cm, 35,5 cm, 37 cm, 38 cm dan 38,5 cm.

Sedangkan untuk tipe Cement Treated Base berturut-turut dari beban 5.000.000 ESAL sampai 25.000.000 ESAL dengan kenaikan sebesar 5.000.000 ESAL; Untuk CBR subgrade 5% tebal perkerasannya adalah 43 cm, 49 cm, 52 cm, 53.5 cm dan 55 cm. Untuk CBR subgrade 10% tebal perkerasannya adalah 34 cm, 37.5 cm, 39.5 cm, 41.5 cm dan 42.5 cm. Untuk CBR 15 %, 20%, 25%, 30%, 35% dan 40% memiliki tebal total yang sama yakni: 28 cm, 32 cm, 34.5 cm, 36.5 cm dan 37,5 cm.

2. Pada metode AASHTO 1972 perbandingan tebal total karena adanya perubahan $FR = 1$ menjadi $FR = 1.5$ untuk semua variasi beban memiliki selisih tebal total yang cenderung mengecil akibat mengalami peningkatan nilai CBR tanah dasar. Untuk beban 5.000.000 ESAL perbandingan tebal total perkerasan menjadi konstan mulai dari CBR subgrade 20% - 40%. Untuk beban 10.000.000 ESAL dan 15.000.000 ESAL perbandingan tebal total perkerasan menjadi konstan mulai dari CBR subgrade 25% - 40%. Sedangkan untuk beban 20.000.000 ESAL dan 25.000.000 ESAL perbandingan tebal total perkerasan menjadi konstan mulai dari CBR subgrade 30% - 40%. Serta dari hasil perhitungan didapatkan tebal total perkerasan pada daerah iklim II ($FR = 1.5$) lebih tebal dibandingkan tebal total perkerasan pada daerah iklim I ($FR = 1$).
3. Dari hasil analisa yang telah dilakukan, maka didapatkan perbandingan sebagai berikut:
 - a. Komparasi tebal total perkerasan Metode AASHTO 1986 tipe Granular Roadbase –

Structural Surface dengan Metode AASHTO 1972 pada $FR = 1$. Untuk CBR subgrade 5 %, 10% dan 15 %, tebal total perkerasan menggunakan Metode AASHTO 1972 lebih tebal dibandingkan menggunakan Metode AASHTO 1986. Sedangkan untuk CBR subgrade 20 %, tebal total perkerasan menggunakan Metode AASHTO 1972 lebih tebal dibandingkan metode AASHTO 1986 hanya saat beban lalu lintas 20.000.000 ESAL dan 25.000.000 ESAL. Dan perbandingan tebal total perkerasan mulai konstan pada saat CBR subgrade 25% - 40%.

- b. Komparasi tebal total perkerasan Metode AASHTO 1986 tipe Granular Roadbase – Structural Surface dengan Metode AASHTO 1972 pada $FR = 1,5$. Untuk CBR subgrade 5 %, 10% dan 15 % dan 20% tebal total perkerasan menggunakan Metode AASHTO 1972 lebih tebal dibandingkan menggunakan Metode AASHTO 1986. Sedangkan untuk CBR subgrade 25 %, tebal total perkerasan menggunakan Metode AASHTO 1972 lebih tebal dibandingkan metode AASHTO 1986 hanya saat beban lalu lintas sebesar 25.000.000 ESAL. Dan perbandingan tebal total perkerasan mulai konstan pada saat CBR subgrade 30% - 40%.

Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan menggunakan prosedur yang sama untuk metode MDP 2013.
2. Penelitian ini dilakukan dengan cara studi literatur, untuk itu disarankan pada penelitian selanjutnya agar dapat melakukan penelitian secara langsung dengan mengambil data dilapangan, seperti data CBR subgrade dan data LHR.

DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO.1993. *Guide for Design of Pavement Structure* 1993. American Association of State Highways and Transportation Officials, Washington, D.C, USA.
- Departemen Pekerjaan Umum.1987, *Petunjuk Perancangan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya Dengan Metode Analisa Komponen*, Yayasan Badan Penerbit PU, Jakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum 1997, *Manual Kapasitas Jalan Indonesia*, Direktorat Jendral Bina Marga, Jakarta.

- Kalesaran, Paul J. 2006, *Perbandingan Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya Menggunakan Metode AASHTO 1986 dan Road Note 31 (Studi Kasus : Jalan Lingkar Luar Kota Manado*, Tugas Akhir Jurusan Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi Manado.
- Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga. 2013. *Manual Desain Perkerasan Jalan Nomor 02/M/BM/2013*. Jakarta.
- Koestalam, Pinardi dan Sutoyo. 2010, *Perancangan Tebal Perkerasan Jenis Lentur (Flexible Pavement) dan Jenis Kaku (Rigid Pavement) (Sesuai AASHTO,1986)*, Yayasan Badan Penerbit Pekerjaan Umum PT.Mediatama Saptakarya, Jakarta.
- NASA. “How Climate is Changing”. 10 Oktober 2018. <https://climate.nasa.gov/effects/>
- Pangerapan, Monica Linny, Theo K. Sendow, Lintang Elisabeth . 2018. *Studi Perbandingan Perencanaan Tebal Lapis Tambah (Overlay) Perkerasan Lentur Menurut Metode Pd T-05-2005-B dan Manual Desain Perkerasan Jalan 2013 (Studi Kasus : Ruas Jalan Bts. Kota Manado – Tomohon)*. Jurnal Sipil Statik. Volume 6 No 10 Oktober 2018 (823 – 834) ISSN : 2337 - 6732.
- Romauli, Theresia Dwiriani, Joice E. Waani, Theo K. Sendow. 2016. *Analisis Perhitungan Tebal Lapis Tambah (Overlay) pada Perkerasan Lentur dengan Menggunakan Manual Desain Perkerasan Jalan 2013 (Studi Kasus : Ruas Jalan Kairagi – Mapanget)*. Jurnal Sipil Statik. Volume 4 No.12 Desember 2016 (749 – 759) ISSN : 2337-6732.
- Yauri, Ricky , Theo K. Sendow, Freddy Jansen . 2016. *Analisis Tebal Perkerasan Lentur Jalan Baru Menggunakan Manual Desain Perkerasan Jalan (MDP) 2013*. Jurnal Sipil Statik. Volume 4 No 12 : 725 – 735.