



PERANCANGAN GEOMETRIK JALAN ANTAR KOTA MENGUNAKAN AUTOCAD CIVIL 3D STUDENT VERSION (STUDI KASUS JALAN MANDEH PROVINSI SUMATERA BARAT)

Ruhdi Faisal^a, Lulusi^{a,*}, Sectioly Sanra^b

^aJurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh

^bMahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh

*Corresponding author, email address: lulusi@unsyiah.ac.id

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<i>Article History:</i> Received 15 December 2020 Accepted 10 August 2021 Online 30 September 2021 <i>Keywords:</i> Geometrik Jalan AASHTO 2011 CAD Civil 3D Student Version 2016 Jalan Mandeh Sumatera Barat	The roadway geometric designing must consider as optimal as possible time spent in designing and building a road. This study aims to determine the results of road geometric design using manual calculation methods and calculations by using AutoCAD Civil 3D Student Version 2016 with a case study of St. Mandeh STA 30 + 000 - STA 37 + 000. The design scope consists of horizontal alignment design, superelevation, and vertical alignment. The method used by reference standard of AASHTO 2011, and for criteria design used by Bina Marga 1997 standard. The results of the horizontal alignment design, obtained 6 SCS curves, 3 FC curves, and 5 SS curves. The manual calculation results are the same as the results of AutoCAD Civil 3D calculations for FC curves and SCS curves. For the SS curve, the result difference is <0.2 m. AutoCAD Civil 3D only calculates the superelevation of FC curve and SCS curve, then the calculation of SS curve have done by manual design. In the vertical alignment design there were 4 crest vertical curves and 3 sag vertical curves with a slope of 0.02% - 5.23% appropriate the maximum slope requirement of 11%. The length of crest and sag vertical curve L_v appropriate the K value requirement for stopping visibility and preceding visibility.

©2021 Magister Teknik Sipil USK. All rights reserved

1. PENDAHULUAN

Seiring berkembangnya teknologi, perancangan jalan dituntut untuk dapat diselesaikan dengan lebih cepat dan akurat, sehingga teknologi menjadi hal dasar yang membedakan metode pembangunan dimasa yang lampau dengan sekarang ini. Perancangan geometrik jalan pada umumnya dilakukan dengan bantuan software desain yang hanya memanfaatkan gambar dalam bentuk 2D, sedangkan perhitungan perancangannya dilakukan secara manual dengan berpedoman kepada Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Bina Marga 1997. Saat ini perancangan geometrik jalan dapat dilakukan dengan menggunakan software AutoCad Civil 3D. AutoCAD Civil 3D merupakan software Autodesk berbasis BIM (*Building Information Modeling*) yang mampu menyimulasikan seluruh informasi di dalam proyek pembangunan ke dalam model 3 dimensi yang dapat menghasilkan perencanaan dalam waktu yang lebih singkat, efisien dan memiliki tingkat akurasi yang tinggi.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hasil perhitungan perancangan geometrik jalan menggunakan metode perhitungan secara manual dan perhitungan menggunakan AutoCAD Civil 3D. studi kasus yang diambil dalam perancangan adalah pembangunan Jalan Mandeh sebagai akses ke Kawasan Strategis Pariwisata Nasional (KSPN) Mandeh yang berada di Kenagarian Mandeh, Kecamatan Koto XI

Tarusan, Kabupaten Pesisir Selatan, Provinsi Sumatera Barat.

Ruang lingkup perancangan ini dibatasi dengan panjang jalan yang ditinjau yaitu 7 km yang berada pada STA 30+000 – STA 37+000. Perancangan geometrik jalan yang direncanakan yaitu perancangan alinyemen horizontal, superelevasi, dan alinyemen vertikal dengan mengabaikan volume galian dan timbunan dari hasil perencanaan yang didapatkan.

2. KAJIAN PUSTAKA

Klasifikasi jalan berdasarkan fungsinya terbagi atas jalan arteri, jalan kolektor, jalan lokal, dan jalan lingkungan adalah sebagai berikut (Anonim, 2004) adalah jalan arteri, jalan kolektor, jalan lokal dan jalan lingkungan.

2.1 Klasifikasi Jalan Menurut Medan

Klasifikasi menurut medan jalan untuk perencanaan geometrik dapat dilihat dalam Tabel 1. Berdasarkan buku Perencanaan Trase Jalan (Bukhari dan Maimunah, 2005), untuk menghitung kemiringan medan jalan pada trase rencana, dapat digunakan rumus:

$$i = \frac{|h_2 - h_1|}{d_{12}} \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan:

i = Kemiringan Medan (%);

h_1, h_2 = Ketinggian di Titik 1 dan 2;

d_{12} = Jarak Antar Titik 1 dengan Titik 2.

Tabel 1. Klasifikasi Menurut Medan

Jenis Medan	Notasi	Kemiringan medan (%)
Datar	D	< 3
Perbukitan	B	3 – 25
Pegunungan	G	> 25

Sumber: Bukhari dan Maimunah (2005)

2.2 Klasifikasi Kendaraan dan Kecepatan Rencana

Kendaraan rencana dikelompokkan ke dalam 3 kategori berdasarkan standar acuan (Anonim, 1997) yaitu kendaraan kecil, kendaraan sedang, dan kendaraan besar. Kecepatan rencana (V_R) untuk masing masing fungsi jalan dapat ditetapkan dari Tabel 2.

Tabel 2. Kecepatan Rencana, V_R , Sesuai Klasifikasi Fungsi dan Medan Jalan

Fungsi	Kecepatan Rencana (V_R), km/jam		
	Datar	Bukit	Pegunungan
Arteri	70 - 120	60 - 80	40 – 70
Kolektor	60 - 90	50 - 60	30 – 50
Lokal	40 - 70	30 - 50	20 – 30

Sumber: Bukhari dan Maimunah (2005)

2.3 Alinyemen Horizontal

Alinyemen horizontal adalah kumpulan titik-titik yang membentuk garis (lurus atau lengkung) sebagai proyeksi sumbu atau as jalan pada bidang horizontal (Suwardo dan Haryanto, 2018). Derajat lengkung dan radius tikungan dapat dihitung menggunakan rumus di bawah ini.

$$D = \frac{25}{2\pi \cdot R} \times 360 = \frac{1432,39}{R} \quad (2)$$

Menurut (Anonim.b,2011) jari-jari kelengkungan dan besarnya radius minimum ditentukan dengan rumus:

$$0,01.e + f = \frac{V^2}{127R} \quad (3)$$

$$R_{\min} = \frac{V_D^2}{127.(0,01e_{\max} + f_{\max})} \quad (4)$$

Keterangan:

$R = R_{\min}$ =jari-jari kelengkungan (m);

$V = V_D$ = kecepatan kendaraan (km/jam);

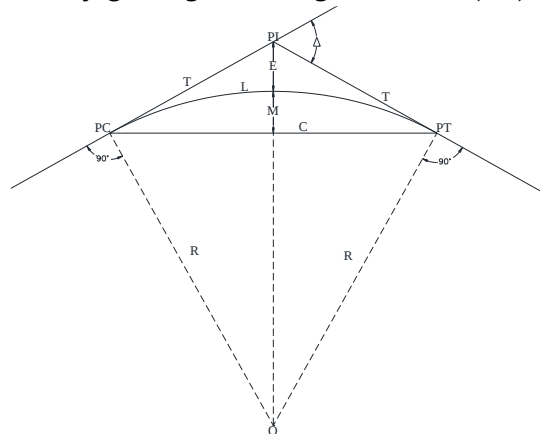
$e = e_{\max}$ = superelevasi (%);

$f = f_{\max}$ = koefisien gesekan melintang.

2.3.1 Perencanaan Jenis Lengkung

a. *Simple Curve*

Lengkung *Simple Curve* disebut juga dengan lenkung *Full Circle (FC)*.



Gambar 1. Lengkung *Simple Curve (Full Circle)*

Sumber : Kavanagh dan Mastin (2014)

Persamaan-persamaan yang digunakan dalam perencanaan lenkung *Simple Curve* adalah:

$$T = R \tan \frac{1}{2} \Delta \quad (5)$$

$$C = 2R \sin \frac{1}{2} \Delta \quad (6)$$

$$M = R - R \cos \frac{1}{2} \Delta \quad (7)$$

$$E = R \sec \frac{1}{2} \Delta - R \quad (8)$$

$$L = \frac{2\pi}{360} .R. \Delta \quad (9)$$

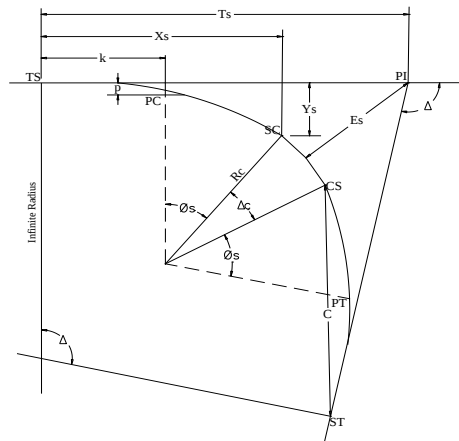
b. *Transition Curve*

Transition Curve terdiri dari lenkung *Spiral Circle Spiral* dan lenkung *Spiral Spiral*

Persamaan-persamaan yang digunakan dalam perencanaan lenkung *Transition Curve* adalah:

$$\theta_s = \frac{L_s}{2.Rc} * \frac{180}{\pi} = \frac{90L_s}{\pi.Rc} \quad (10)$$

$$x_s = L_s - \frac{L_s^3}{40.Rc^2} \quad (11)$$



Gambar 2. Lengkung Transition Curve
 Sumber : Hicks (2000)

$$y_s = \frac{L_s^2}{6.Rc} \quad (12)$$

$$p = y_s + Rc \cos \theta_s - Rc \quad (13)$$

$$k = x_s - Rc \sin \theta_s \quad (14)$$

$$\Delta c = \Delta - 2 * \theta_s \quad (15)$$

$$Lc = Rc. \Delta c * \frac{2\pi}{360} \quad (16)$$

$$L_{tot} = Lc + 2.L_s \quad (17)$$

$$Ts = (Rc + p) * \operatorname{tg} \frac{1}{2} \Delta + k \quad (18)$$

$$Es = \frac{(Rc + p)}{\cos \frac{1}{2} \Delta} - Rc \quad (19)$$

Panjang L_s Minimum dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$L_s = \frac{0,0214V^3}{R.C} \quad (20)$$

Keterangan :

L_s = panjang lengkung spiral minimum (m);

V = kecepatan rencana (km/jam);

R = radius lengkung (m);

C = tingkat kenyamanan, keselamatan ($C = 0,3-0,9 \text{ m/s}^3$).

Tabel 3. Batasan Nilai Superelevasi (%)

Kecepatan Rencana (km/jam)	Batasan Nilai Superelevasi (%)
20	8
30	8
40	10
50	11
60	11
70	12

2.3.2 Superelevasi

Diagram superelevasi digambar berdasarkan elevasi sumbu jalan sebagai garis nol. Untuk batasan nilai superelevasi desain, dapat dilihat pada Tabel 3. Kelandaian maksimum yang ditetapkan untuk berbagai kecepatan rencana dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Kelandaian Maksimum Lengkung Vertikal

Kelas	Kelandaian Maksimum							
Medan	30	40	50	60	70	80	90	100
Datar	7	7	7	7	7	6	6	5
Bukit	10	10	9	8	8	7	7	6
Gunung	112	11	10	10	10	9	9	8

a. Superelevasi *Runoff*

$$L_r = e.W.R_s \quad (21)$$

Keterangan:

L_r = Panjang superelevasi *runoff* (m);

e = Superelevasi desain (%);

W = Lebar putaran untuk 1 lajur (3,6 m);

RS = *Relative longitudinal gradient* (143 untuk V 40 km/jam).

b. *Tangent Runout*

$$TR = \frac{S_{normal}}{e} . L_r \quad (22)$$

Keterangan:

TR = *tangen runout* (m);

S_{normal} = *Travel lane cross slope* (desimal, Normal antara 1,5 – 2,0% (Anonim, 2018).

2.4 Software AutoCad Civil 3D

Pada penelitian ini AutoCAD Civil 3D yang digunakan adalah AutoCAD Civil 3D *Student Version* 2016. AutoCAD Civil 3D dapat bekerja pada komputer yang memiliki spesifikasi sebagai berikut :

- Microsoft® Windows® 7 Enterprise, Ultimate, Professional, Home Premium, Microsoft Windows 8/8.1, Microsoft Windows 8/8.1 Pro, Microsoft Windows 8/8.1 Enterprise, Microsoft Windows 10 Pro, Microsoft Windows 10 Enterprise;
- Minimum Intel® Pentium® 4 or AMD Athlon® 64 processor;
- 4 GB RAM minimum (8 GB RAM direkomendasikan);
- 10 GB *disk space* untuk instalasi, 6 GB untuk program file;
- 1280 x 1024 with true Color capabilities and DirectX®9* display adapter;
- Microsoft® Internet Explorer® 9.0;
- DVD drive.

3. METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini dilakukan pada Jalan Mandeh sebagai jalan akses ke Kawasan Strategis Pariwisata Nasional (KSPN) Mandeh yang berada di Kenagarian Mandeh, Kecamatan Koto XI Tarusan, Kabupaten Pesisir Selatan, Provinsi Sumatera Barat. Perancangan ini dibatasi dengan panjang jalan yang ditinjau yaitu 7 km yang berada pada STA 30+000 – STA 37+000. Sketsa lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Peta Lokasi Penelitian

3.2 Proses Pengumpulan Data

Perancangan geometrik jalan ini menggunakan data sekunder yang diperoleh dari instansi-instansi terkait, meliputi:

1. Peta jaringan jalan Provinsi Sumatera Barat
2. Peta lokasi perancangan jalan (Jalan Mandeh STA 30+000 – STA 37+000)
3. Data kontur per 25 meter (x, y, z) daerah Mandeh yang didapat dari Global Mapper versi 18

3.3 Pengolahan Data

Metode yang dilakukan meliputi tahap persiapan, pengumpulan data-data, perancangan geometrik jalan menggunakan perhitungan manual dan menggunakan AutoCAD Civil 3D. Berikut ini adalah tahapan-tahapan dalam perancangan menggunakan AutoCAD Civil 3D yaitu:

- a. *Setting* sistem koordinat dalam Civil 3D;
- b. Penginputan data point;
- c. Pembuatan kontur;
- d. Pembuatan alinyemen horizontal;
- e. Perencanaan superelevasi;
- f. Pembuatan alinyemen vertikal.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil

Berdasarkan RTRW Kab. Pesisir Selatan (Anonim.b, 2011), ruas jalan yang menghubungkan Koto XI Tarusan - Mandeh - Sungai Pinang - Sungai Pisang termasuk ke dalam jaringan jalan provinsi dengan kelas jalan kolektor primer yang menghubungkan Ibukota Provinsi dengan Ibukota Kabupaten.

Hasil perhitungan kemiringan rata-rata medan trase didapatkan sebesar 32,16% dengan jenis medan adalah pegunungan. Dan untuk kedraan yang dipakai adalah kendaraan kecil dan sedang. Dari Tabel 2, kecepatan rencana yang sesuai dengan fungsi jalan kolektor pada daerah pegunungan adalah 30 – 50 km/jam, sehingga kecepatan rencana ditetapkan sebesar 40 km/jam.

1. Perencanaan Tikungan

- a) Tikungan *Simple Curve (Full Circle)*

Dari perancangan yang dilakukan didapatkan 3 lengkung jenis *Full Circle*. Berikut contoh hasil perhitungan menggunakan jenis *Simple Curve* PI-6 Autocad Civil 3D dan manual desain tikungan PI6 dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Perhitungan Tikungan PI-6

FC	Manual Design		Civil 3D Design	
	Hasil	Satuan	Hasil	Satuan
Vr	40	km/jam	40	km/jam
Δ	16,626	°	16,626	°
emax	0,1		0,1	
fmax	0,23		0,23	
Rmin	38	m	38	m
Rc	800	m	800	m
Lc	232,139	m	232,139	m
C	231,325	m	231,326	m
M	8,405	m	8,405	m
Tc	116,891	m	116,891	m
Ec	8,495	m	8,495	m

b) Tikungan *Spiral Circle Spiral*

Dari perancangan yang dilakukan didapatkan 6 lengkung jenis *Spiral Circle Spiral*. Berikut hasil perhitungan tikungan PI-3 menggunakan Autocad Civil 3D dan manual desain dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Rekapitulasi Hasil Perhitungan Tikungan PI-3

SCS	Manual Design		Civil 3D Design	
	Hasil	Satuan	Hasil	Satuan
Vr	40	km/jam	40	km/jam
Δ	22,402	°	22,402	°
Emax	0,1		0,1	
Fmax	0,23		0,23	
Rmin	38	m	38	m
Rc	300	m	300	m
Δ_c	12,852	°	12,852	°
Θ_s	4,775	m	4,775	m
Ls	50	m	50	m
Lc	67,295	m	67,295	m
Ltot	167,295	m	167,295	m
Xs	49,965	m	49,965	m
Ys	1,389	m	1,389	m
P	0,348	m	0,348	m
K	24,994	m	24,994	m
Ts	84,469	m	84,469	m
Es	6,180	m	6,180	m

c) Tikungan *Spiral Spiral*

Berikut contoh hasil perhitungan tikungan jenis *Spiral Spiral* PI- menggunakan Autocad Civil 3D dan manual desain dapat dilihat pada **Tabel 7**.

Tabel 7. Hasil Perhitungan Tikungan PI-1

SS	Manual Design		Civil 3D Design	
	Hasil	Satuan	Hasil	Satuan
Vr	40	km/jam	40	km/jam
Δ	54,128	°	54,128	°
emax	0,1		0,1	
fmax	0,23		0,23	
Rmin	38	m	38	m
Rc	53	m	53	m
θ_s	27,064	°	27,064	°
Ls	50,070	m	50,070	m
Ltot	100,140	m	100,140	m
Xs	48,953	m	48,964	m
Ys	7,884	m	7,759	m
P	2,080	m	1,955	m
K	24,838	m	24,850	m
Ts	52,981	m	52,929	m
Es	8,853	m	8,7130	m

2. Perencanaan Superelevasi

Superelevasi maksimum yang digunakan adalah sebesar 10%. Berikut hasil perhitungan superelevasi pada trase yang direncanakan.

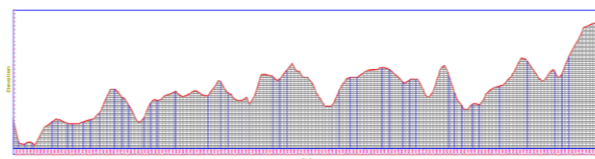
Tabel 8. Perhitungan Superelevasi AutoCAD Civil 3D

PI	Jenis	Superelevasi	Runout	Runoff
	Tikungan			
		(%)	(m)	(m)
1	SS	-	-	-
2	SCS	3,6	10,556	19
3	SCS	3,6	10,556	19
4	SS	-	-	-
5	SS	-	-	-
6	FC	NC	0	0
7	SCS	3,6	10,556	19
8	SS	-	-	-
9	SCS	3,6	10,556	19
10	SCS	3,2	10	16
11	FC	2	10	10
12	SCS	6,4	10,312	33
13	FC	2	10	10
14	SS	-	-	-

4.2 Perencanaan Alinyemen Vertikal

4.2.1 Profil Existing Alinyemen Rencana

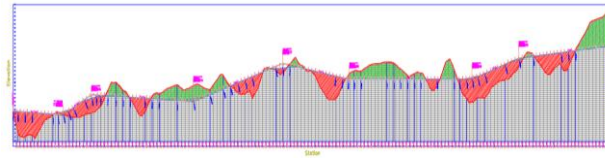
Profil *existing* hasil proyeksi alinyemen horizontal rencana ditampilkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Profil Existing Alinyemen Rencana

4.2.2 Profil Design Alinyemen Vertikal

Profil *design* hasil proyeksi alinyemen horizontal rencana ditampilkan pada Gambar 5.



Gambar 5. *Profil Design Alinyemen Vertikal*

Berikut hasil perhitungan lengkung vertikal menggunakan AutoCAD Civil 3D dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Perhitungan Alinyemen Vertikal

VPI	Jenis Lengkung	Grade (%)	A (Grade Change) (%)	Lv (m)	K Value
1	Cekung	-0,53	5,76	70	12,153
2	Cembung	5,23	5,72	150	26,219
3	Cekung	-0,50	3,57	50	14,010
4	Cembung	3,07	4,81	150	31,172
5	Cekung	-1,74	1,76	50	28,404
6	Cekung	0,02	3,22	50	15,540
7	Cembung	3,24	2,30	150	65,147

4.3. Pembahasan

Setelah dilakukan pengolahan data maka dapat dilakukan pembahasan mengenai hasil perhitungan kedua metode perancangan geometrik yaitu perancangan dengan perhitungan manual dan perhitungan menggunakan AutoCAD Civil 3D. Dari perhitungan yang dilakukan rata-rata kemiringan medan pada pembuatan trase baru didapat sebesar 32,166% dengan klasifikasi medan pegunungan. Pada pendesainan trase baru, terjadi perubahan panjang trase dari 7 km menjadi 4,319 km.

Adapun hasil analisis dari perhitungan alinyemen horizontal yang telah dilakukan, didapat hasil berupa 12 lengkung alinyemen horizontal yang terdiri dari 6 lengkung jenis SCS, 3 lengkung jenis FC, dan 5 lengkung jenis SS. Hasil yang didapatkan pada perhitungan manual sama dengan hasil perhitungan AutoCAD Civil 3D untuk jenis lengkung FC dan lengkung SCS. Untuk perhitungan lengkung SS didapatkan perbedaan hasil pada X_s , Y_s , P , K , T_s , dan E_s dengan perbedaan hasil $< 0,2$ m.

Perbedaan proses perhitungan yang dilakukan menggunakan cara manual dengan menggunakan AutoCAD Civil 3D pada lengkung SS dapat disimpulkan perbedaan nilai X_s , Y_s , P , K , T_s , dan E_s disebabkan karena penginputan nilai rencana yang berbeda dan kemungkinan persamaan yang digunakan untuk mendapatkan masing-masing nilai X_s , Y_s , P , K , T_s , dan E_s yang berbeda.

Pada perhitungan superelevasi, AutoCAD Civil 3D hanya menghitung nilai superelevasi pada tikungan jenis FC dan SCS sehingga untuk perhitungan superelevasi pada lengkung SS hanya dilakukan dengan perhitungan manual. Untuk hasil perhitungan superelevasi lengkung FC dan SCS dengan menggunakan AutoCAD Civil 3D didapatkan hasil yang sama dengan perhitungan manual. Pada perancangan alinyemen vertikal didapatkan hasil berupa 4 lengkung vertikal cembung, dan 3 lengkung vertikal cekung dengan hasil perhitungan yang didapatkan menggunakan AutoCAD Civil 3D sama dengan perhitungan yang dilakukan secara manual. Dari hasil perhitungan diperoleh kelandaian pada alinyemen vertikal yaitu 0,02% - 5,23%.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari hasil penelitian dan pembahasan adalah sebagai berikut :

1. Dari perancangan alinyemen horizontal didapatkan 12 lengkung alinyemen horizontal yang terdiri dari 6 lengkung jenis SCS, 3 lengkung jenis FC, dan 5 lengkung jenis SS.

2. Dari analisis perhitungan alinyemen horizontal, didapatkan perbedaan hasil yang dikeluarkan oleh AutoCAD Civil 3D dengan perhitungan yang dilakukan secara manual pada perancangan lengkung jenis *Spiral Spiral*.
3. Pada perhitungan superelevasi, AutoCAD Civil 3D hanya menghitung nilai superelevasi pada tikungan jenis *Simple Curve (Full Circle)* dan lengkung *Spiral Circle Spiral*.
4. Pada perancangan alinyemen vertikal didapatkan hasil berupa 4 lengkung vertikal cembung, dan 3 lengkung vertikal cekung dengan hasil perhitungan menggunakan AutoCAD Civil 3D sama dengan perhitungan yang dilakukan secara manual.
5. Panjang L_v pada perencanaan panjang lengkung vertikal cekung dan vertikal cembung memenuhi syarat berdasarkan nilai K pada jarak pandang henti dan jarak pandang menyiap.
6. Perancangan dengan AutoCAD Civil 3D menggunakan lengkung *Spiral Spiral* untuk alinyemen horizontal kurang direkomendasikan, sehingga perlu dilakukan pengecekan ulang secara manual untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat.

Adapun saran dari hasil peneltain dan pembahasan, di antaranya :

1. Perlu adanya penelitian lanjutan dengan menggunakan standar acuan dari Bina Marga 1997 sehingga hasil desain dapat diterapkan sesuai dengan aturan yang dipakai di Indonesia.
2. Untuk penelitian selanjutnya diharapkan untuk tidak mengabaikan besarnya volume galian maupun timbunan dari perancangan yang dilakukan. Perancangan geometrik jalan menggunakan AutoCAD Civil 3D diharapkan dapat dilakukan sampai dengan tahapan pendesainan *cross section* dan koridor jalan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2004. *Undang-Undang Nomor 38 Tahun 2004 tentang jalan*, Sekretariat Negara, Jakarta.
- Anonim. 1997. *tata cara perencanaan geometrik jalan antar kota*, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Anonim.b. 2011. *peraturan daerah kabupaten pesisir selatan No.7 Tahun 2011 tentang RTRW Kabupaten Pesisir Selatan 2010-2030*, Sekretariat Daerah, Painan, Sumatra Barat.
- Bukhari., Maimunah. 2005. *Perencanaan trase jalan raya*, Fakultas Teknik Unsyiah, Banda Aceh,
- Hicks, T.G.2000. *Handbook of civil engineering calculations*, McGRAW-HILL, USA.
- Kavanagh, B.F., Mastin, T.B. 2014. *Surveying: Principles and applications*, Pearson, USA.
- Suwardo, Haryanto, I. 2018. *Perancangan geometrik jalan*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.