

ANALISA STRUKTUR TIKUNGAN JALAN RAYA BERBENTUK *SPIRAL-SPIRAL* DENGAN PENDEKATAN GEOMETRI

Edi Sutomo
Program Studi Magister Pendidikan Matematika
Program Pasca Sarjana Universitas Muhammadiyah Malang
Jln Raya Tlogomas 246 Malang
e-mail: edisutomo1985@gmail.com

ABSTRAKS: Saat kendaraan memasuki tikungan, berangsur-angsur mendapatkan gaya *centrifugal* mulai dari nol hingga maksimum dan selanjutnya kembali ke nol pada saat jalan lurus kembali. Salah satu bentuk tikungan agar gaya *centrifugal* tersebut dapat berkurang yaitu bentuk tikungan *Spiral-Spiral* dimana sudut deflasinya relatif besar dan secara geometri terdiri dari dua lengkung peralihan yang cocok untuk tikungan tajam. Kajian ini bertujuan untuk mengetahui pemilihan tikungan jalan raya berbentuk *Spiral-Spiral* serta bagaimana penurunan formulasinya dengan batasan hanya menganalisa struktur pada tikungan jalan raya di bidang datar. Penulis menggunakan pendekatan studi literatur dalam menganalisa permasalahan yang diungkapkan. Berdasarkan dari pembahasannya dalam memodelkan dan pemilihan tipe tikungan jalan raya, apabila tikungan jalan raya telah didesain dan didapatkan L_c (panjang lengkung circle) kurang dari 25 meter sebaiknya digunakan tikungan tipe *Spiral-Spiral*. Dari sketsa tikungan tipe *Spiral-Spiral* disederhanakan lagi sehingga didapat satu bagian *Spiral* saja. Bagian *Spiral* tersebut dianalisa dengan pendekatan geometri sehingga didapat 6 (enam) formuladigunakan dalam perhitungan dan desain tikungan *Spiral-Spiral*.

Kata Kunci: Tikungan; *Spiral-Spiral*; Geometri

1. PENDAHULUAN

Persyaratan geometrik jalan merupakan salah satu dari persyaratan-persyaratan dalam konstruksi pembuatan jalan, hal ini berguna untuk memberikan kenyamanan, keamanan dan kelancaran pengguna jalan. Geometrik jalan merupakan bekal awal untuk mendalami dan memahami pengertian dasar dari suatu bentuk konstruksi jalan raya. Kemudian baru didekati dengan pendekatan struktur, yang lebih mengarah kepada bentuk fisik dan kekuatan konstruksi jalan, yang memerlukan penelaahan perencanaan yang lebih matang dan akurat, Alamsyah [1], Saodang [6].

Salah satu komponen geometrik dalam perencanaan struktur jalan raya adalah lengkung peralihan yaitu lengkung pada tikungan yang digunakan untuk mengadakan peralihan dari bagian jalan yang lurus ke bagian jalan yang mempunyai jari-jari lengkung dengan kemiringan tikungan tertentu atau sebaliknya, Saodang [6].

Pada saat kendaraan memasuki tikungan, secara berangsur-angsur kendaraan tersebut akan mendapatkan gaya sentrifugal (gaya yang mendorong kendaraan ke arah radial keluar dari jalur jalan) mulai dari nol hingga maksimum dan selanjutnya kembali ke nol pada saat jalan lurus kembali. Untuk meminimalkan gaya sentrifugal ini, maka dalam mendesain bentuk tikungan terdapat tiga jenis tikungan yang bisa digunakan dalam pelaksanaannya, yaitu *Full Circle*, *Spiral-Circle-Spiral*, dan *Full Spiral (Spiral-Spiral)*, Saodang, [6].

Salah satu bentuk tikungan agar gaya sentrifugal tersebut dapat berkurang yaitu bentuk tikungan *Spiral-Spiral*. Tipe tikungan ini cocok untuk tipe tikungan-tikungan yang tajam dimana sudut deflasi yang digunakan relatif besar dan secara geometri terdiri dari dua lengkung peralihan, Alamsyah [1]. Dalam ilmu teknik sipil selalu digunakan rumus-rumus yang sudah jadi, tanpa memperhitungkan proses terjadinya. Untuk menghitung segala sesuatunya praktisi teknik sipil hanya bergantung pada tabel-tabel konstruksi. Guna mengetahui proses terjadinya rumus tersebut, dalam tulisan ini akan dianalisa bagaimana kriteria pemilihan tikungan jalan raya berbentuk *Spiral-Spiral* serta penurunan formulasi secara Geometri.

Untuk menghindari kesalahpahaman dan penyimpangan arah dalam tulisan ini, penulis membuat batasan permasalahan hanya pada bagaimana pemodelan tikungan yang bertujuan untuk mengetahui langkah-langkah penurunan formulasinya, dan hanya menganalisa struktur pada tikungan jalan raya berbentuk *Spiral-Spiral* di bidang datar.

2. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam pembahasan ini menggunakan studi kepustakaan, dimana bahan dan sumber kajian pada penulisan ini, penulis mendapatkan materi dan informasi dari beberapa karya tulis yang dimuat dalam buku atau sumber lain yang relevan. Dalam pembahasan ini penulis mempelajari materi atau bahan yang telah terkumpul, yaitu tentang elemen dan desain geometrik jalan raya (khususnya sketsa tikungan jalan raya berbentuk *Spiral-Spiral*) kemudian menuangkannya kembali dalam bentuk karya tulis. Pengujian hasil pembahasan dalam penulisan ini adalah dengan cara mengkomunikasikan atau mendiskusikan hasil pembahasan dengan para pakar matematika dan teknik sipil.

3. PEMBAHASAN

Dalam matematika spiral adalah suatu kurva dengan perubahan derajat kelengkungan kontinu, dimana radius spiral di setiap titiknya berbanding terbalik dengan panjangnya. Spiral yang digunakan dalam tikungan jenis *Spiral-Spiral* adalah jenis *Spiral Euler*, karena jenis *Spiral* ini memiliki derajat kelengkungan spiral yang bertambah besar

secara teratur. Dalam aplikasinya derajat kelengkungan ini berimplikasi pada berkurangnya kecepatan secara teratur (uniform) dari nol di T_5 dimana $R=\infty$ sampai derajat D dari busur lingkaran di S_0 , Meyer [4].

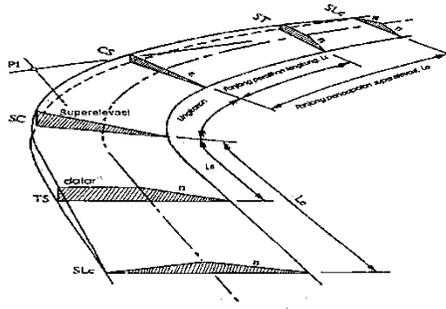
Spiral Euler merupakan kurva yang banyak digunakan dalam berbagai bidang, dalam pengetahuan murni atau terapan, penggunaannya dalam survei lintas jalur melibatkan bagian-bagian spiral yang memiliki arti grafik yang jelas. Kemudahan penyesuaian spiral Euler pada penggunaan praktis terlihat pada bentuk yang sama dengan jejak kendaraan ketika beralih dari jalan lurus ke tikungan berbentuk lingkaran dan sebaliknya, Saodang [6]. Berdasarkan Undang-undang Republik Indonesia No.38 tahun 2004, yang dimaksud jalan adalah prasarana transportasi darat yang meliputi segala bagian jalan, termasuk bagian pelengkap dan perlengkapannya yang diperuntukan bagi lalu lintas.

Perencanaan geometrik jalan harus memperhatikan beberapa kriteria sebagai pertimbangan dalam mengoptimalkan perencanaan jalan, berdasarkan Direktorat Jenderal Bina Marga[2] adalah kendaraan rencana, satuan mobil penumpang, volume lalu lintas harian rata-rata dan kecepatan Rencana (V_r).

Dalam desain geometrik jalan raya terdapat dua bagian penting yang harus diperhatikan, yaitu desain alinyemen horisontal dan desain alinyemen vertikal. Desain alinyemen horizontal berkaitan dengan tikungan pada jalan raya, sedangkan desain alinyemen vertikal berkaitan dengan tanjakan dan turunan pada jalan raya. Kedua alinyemen tersebut saling berhubungan satu dengan yang lain, sebab jalan yang didesain merupakan komponen tiga dimensi yang merupakan kombinasi dari komponen horisontal dan komponen vertical, Mannering [5].

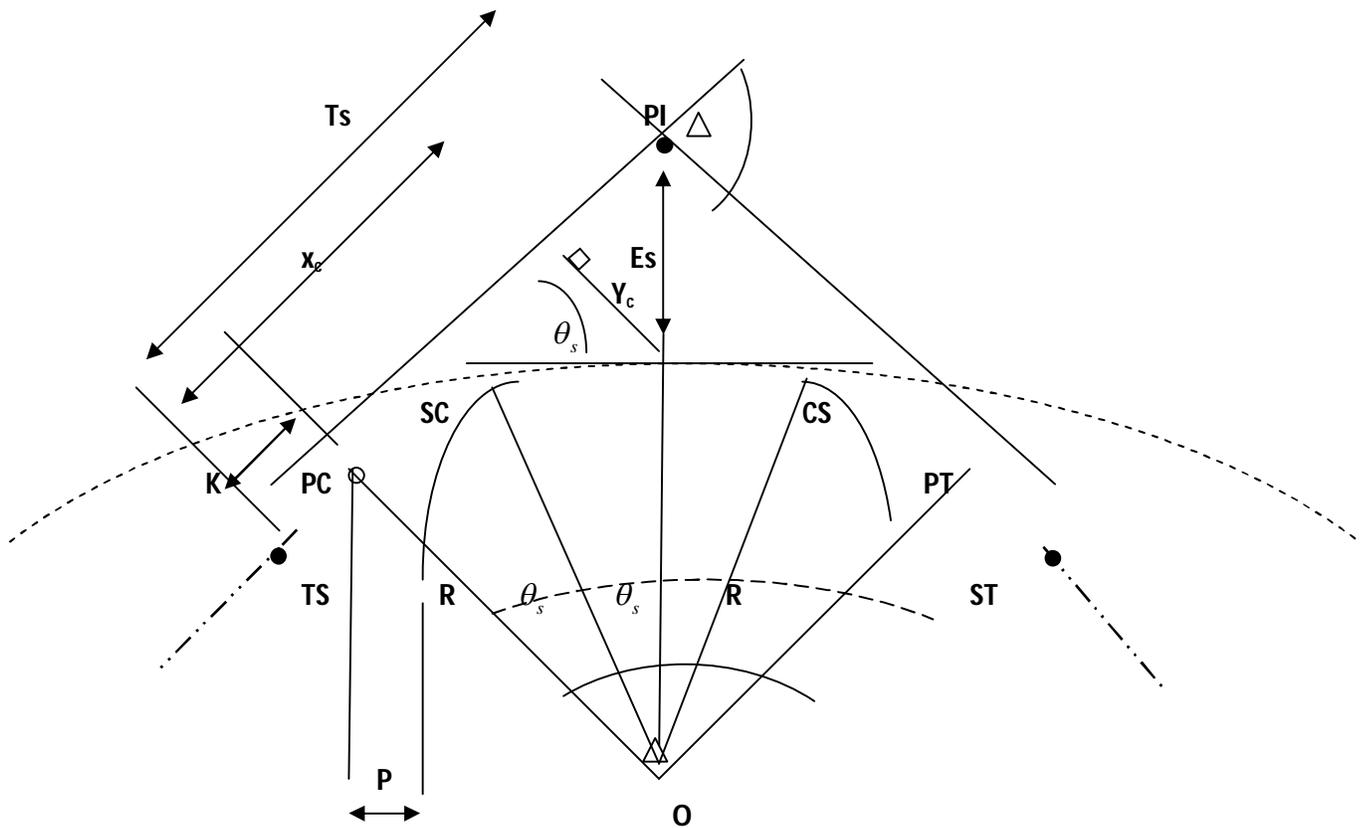
Alinyemen horisontal terdiri dari garis-garis lurus (*tangent*) yang dihubungkan dengan garis-garis lengkung (*curve*), Sukirman [8]. Garis-garis lengkung tersebut dapat terdiri dari lengkung lingkaran (*circle/circular curve*) ditambah dengan lengkung spiral (*transition curve*), lengkung lingkaran saja ataupun lengkung spiral saja

Pada saat kendaraan memasuki tikungan, secara berangsur-angsur mendapatkan gaya centrifugal (gaya yang mendorong kendaraan ke arah radial keluar dari jalur jalan) mulai dari nol hingga maksimum dan selanjutnya kembali ke nol pada saat jalan lurus kembali. Besarnya gaya yang menimbulkan dorongan kesamping ini menentukan bentuk lintasan kendaraan yang berpengaruh pada perencanaan tikungan. Oleh sebab itu, agar kendaraan yang melintas pada tikungan tidak menyimpang dari lajunya dibuatkanlah lengkung yang merupakan peralihan dari $R = \infty$ ke $R = R_c$, yang disebut lengkung peralihan.



Gambar 1. Sketsa tikungan tiga dimensi (Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga [2])

Sketsa dari gambar diatas sebagaimana yang terdapat dalam Hendarsin [3] adalah sebagai berikut:

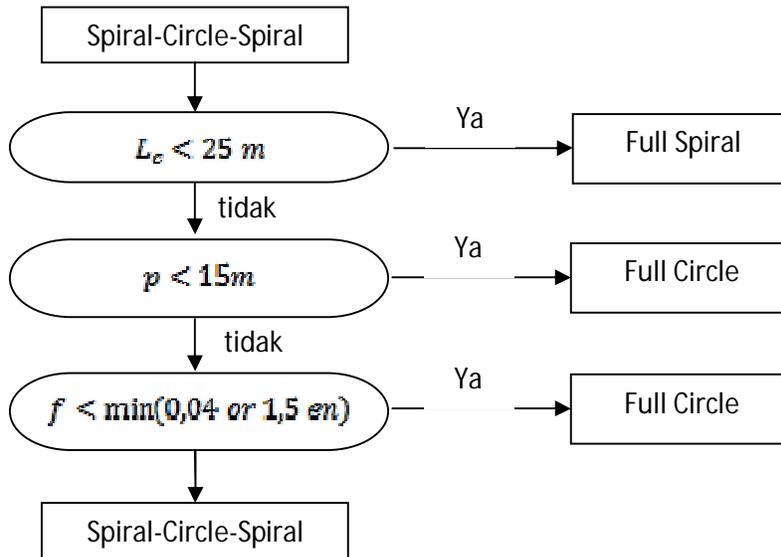


Gambar 2. Sketsa tikungan Jalan

Bentuk tikungan dalam gambar diatas, merupakan jenis tikungan yang cukup Ideal yaitu Spiral-Circle-Spiral dimana tikungan ini mampu menetralkan gaya centrifugal secara perlahan sebelum masuk ke jalan yang lurus kembali dan memberikan jarak pandang yang cukup kepada pengemudi pada saat memasuki tikungan. Hal ini ditunjang karena pada tipe tikungan tersebut mempunyai dua buah lengkung tikungan yaitu lengkung peralihan (spiral) dan lengkung circle, Alamsyah, [1].

Tidak semua hasil survei lintas jalur (kondisi alam) dapat didekati dengan tipe tikungan Spiral-Circle-Spiral. Menurut Mannering [5] apabila survey lintas jalur sudah

dilakukan terdapat beberapa kriteria dalam pemilihan tipe tikungan. Seperti yang terlihat dalam diagram dibawah ini



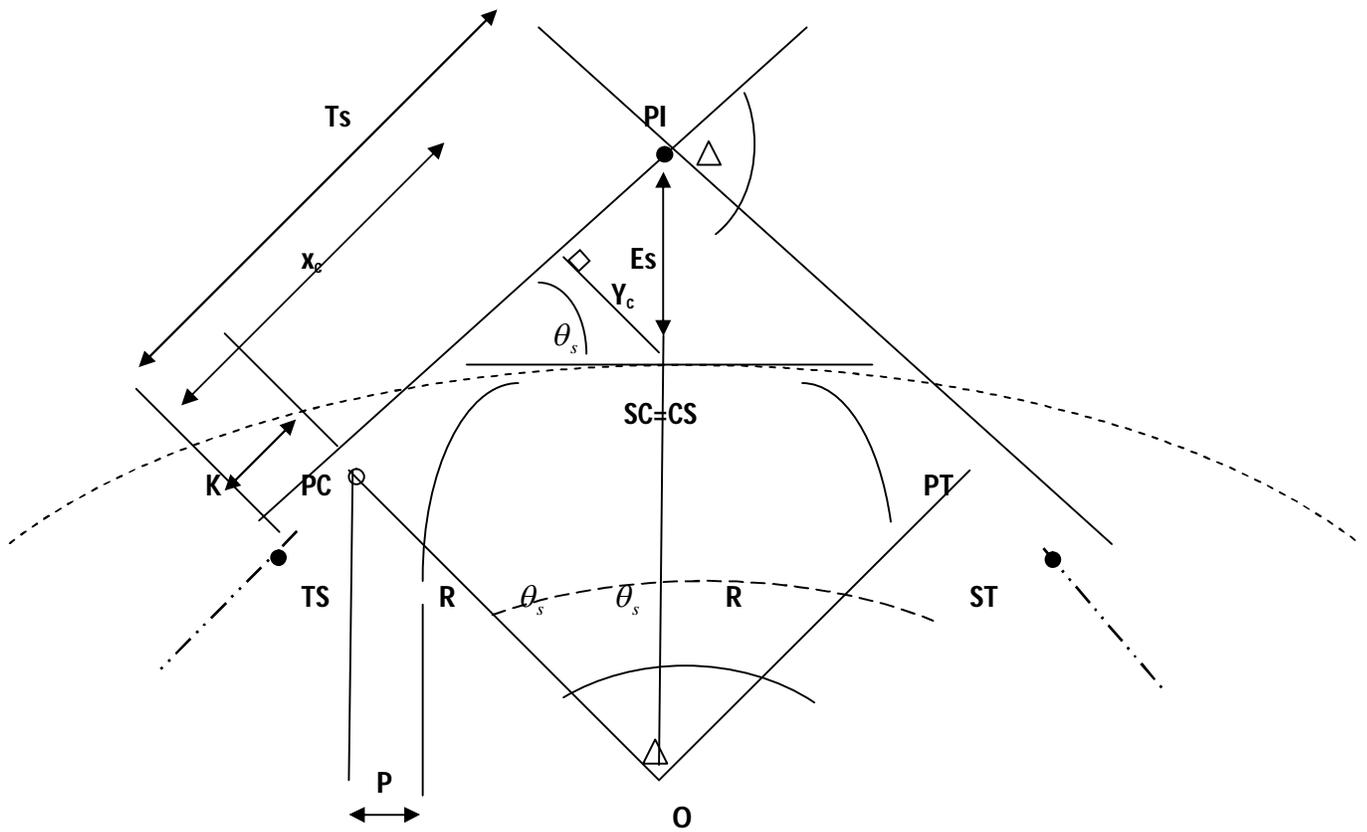
Gambar 3. Skema Pemilihan Tipe Tikungan Jalan Raya

Apabila tikungan jalan raya telah didesain dan ternyata didapatkan L_c (panjang lengkung circle) kurang dari 25 meter maka sebaiknya digunakan tikungan tipe Spiral-Spiral, dimana bentuk tikungan ini adalah lengkung yang tidak memiliki busur lingkaran (*circle*), sehingga SC berimpit dengan titik CS . Sehingga berakibat pada Δ_c (besar sudut bagian circle) = 0 dan panjang $L_c = 0$, Saodang [6].

Tikungan tipe Spiral-Spiral merupakan tikungan dimana lengkung peralihannya dipasang pada bagian awal yaitu pada bagian ujung dan di titik balik pada lengkungan untuk menjamin perubahan yang tidak mendadak pada jari-jari tikungan, superelevasi dan pelebaran jalan.

Menurut Sukriman [7] lengkung horizontal berbentuk Spiral-Spiral adalah lengkung tanpa busur lingkaran sehingga titik SC berimpit dengan titik CS . Panjang busur lingkaran $L_c = 0$, dan $\theta_s = \frac{1}{2} \Delta$.

Bentuk sketsa tikung Spiral-Spiral dalam Saodang [6] adalah sebagai berikut



Gambar 4. Sketsa Tikungan Jalan Raya Berbentuk Spiral-Spiral

Keterangan:

----- : Spiral

- · - · - · : Tangen

R : Jari-jari lengkung

θ_s : Besar sudut spiral

P : Pergeseran tangen terhadap spiral

k : Absis dari PC pada garis tangen spiral

TS : Titik perubahan dari jalan

ST : Titik perubahan dari spiral curve ke jalan yang lurus

Ls : Panjang lengkung perlihan (dari titik TS ke SC atau CS ke ST)

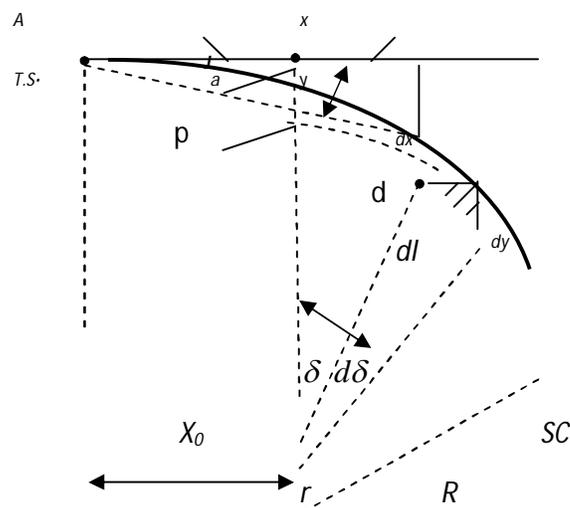
- SC : Titik dari spiral ke lingkaran
- X_c : Absis titik SC pada garis tangen, jarak dari titik TS ke SC (jarak lurus lengkung peralihan)
- Y_c : Ordinat titik SC pada garis tegak lurus garis tangen, jarak tegak lurus ke titik SC pada lengkung.
- T_s : Panjang tangen dari titik PI ke titik TS atau ke titik ST
- PI : Titik perpotongan
- Δ : Total Sudut tikungan

Parameter yang digunakan dalam perhitungan dan desain tikungan Spiral-Spiral adalah :

1. Y_c (Ordinat titik SC pada garis tegak lurus garis tangen, jarak tegak lurus ke titik SC pada lengkung)
 2. X_c (Absis titik SC pada garis tangen, jarak titik TS ke SC)
 3. p (pergeseran tangen terhadap spiral)
 4. k (absis dari PC pada garis tangen spiral)
 5. T_s (Panjang tangen dari titik PI ke titik TS atau ke titik ST)
 6. E_s (Jarak PI ke busur lingkaran)
- (Alamsyah, 2001)

Parameter Y_c

Menurut Meyer [4] bila ditinjau secara geometrik tikungan berbentuk *Spiral-Spiral* merupakan gabungan dari dua buah kurva spiral, maka gambar diatas perlu diadakan penyederhanaan,



O

Gambar 5. Koordinat Spiral

Gambar diatas merupakan spiral dari gambar 4 dimana d merupakan sebarang titik dengan sudut δ , radius r dan panjang $Ad = 1$.

Dengan menggunakan differensial, maka

$$d\delta = \frac{dl}{r}$$

Tetapi, dari hukum spiral menyatakan bahwa, $r : R = L_s : l$ atau $\frac{r}{R} = \frac{L_s}{l}$

$$\text{Jadi : } d\delta = \frac{l}{R \cdot L_s} dl$$

Dengan mengintegalkan kedua ruas, maka diperoleh

$$\delta = \frac{l^2}{2 \cdot R \cdot L_s} \quad (1)$$

Selanjutnya $\sin \delta = \frac{dy}{dl} \approx \delta$ (sangat kecil)

$$\text{Jadi; } \delta y = \delta dl = \frac{l^2}{2 \cdot R \cdot L_s} dl$$

Dengan mengintegalkan kedua ruas, maka diperoleh

$$y = \frac{l^3}{6 \cdot R \cdot L_s} \quad (2)$$

Persamaan (2) akan mencapai maksimum untuk $y = Y_c$ dan $l = L_s$, maka

$$Y_c = \frac{L_s^3}{6 \cdot R \cdot L_s} = \frac{L_s^2}{6 \cdot R}$$

Sehingga didapat formula untuk menghitung Y_c (Ordinat titik SC pada garis tegak lurus garis tangen, jarak tegak lurus ke titik SC pada lengkung) adalah:

$$Y_c = \frac{L_s^2}{6R}$$

Parameter X_c

Untuk menganalisis parameter X_c , masih menggunakan bantuan gambar 5

$$\cos \delta = \frac{dx}{dl'}$$

Dalam formula trigonometri terdapat $\cos \delta = 1 - 2 \sin^2 \frac{1}{2} \delta$, maka

$$\cos \delta = 1 - 2 \sin^2 \frac{1}{2} \delta = \frac{dx}{dl'} \approx 1 - 2 \left(\frac{1}{2} \delta \right)^2,$$

Dengan mensubstitusikan nilai δ yang terdapat pada persamaan (2), sehingga didapat

$$1 - 2 \left(\frac{1}{2} \left(\frac{l^2}{2 \cdot R \cdot L_s} \right) \right)^2 = \frac{dx}{dl'}$$

$$1 - \frac{l^4}{8 \cdot R^2 \cdot L_s^2} = \frac{dx}{dl'}$$

$$\left(1 - \frac{l^4}{8 \cdot R^2 \cdot L_s^2} \right) dl = dx$$

Dengan mengintegrasikan kedua ruas, maka diperoleh

$$1 - \frac{l^5}{40 \cdot R^2 \cdot L_s^2} = x \quad (3)$$

Persamaan (3) akan mencapai maksimum untuk $x = X_c$ dan $l = L_s$,

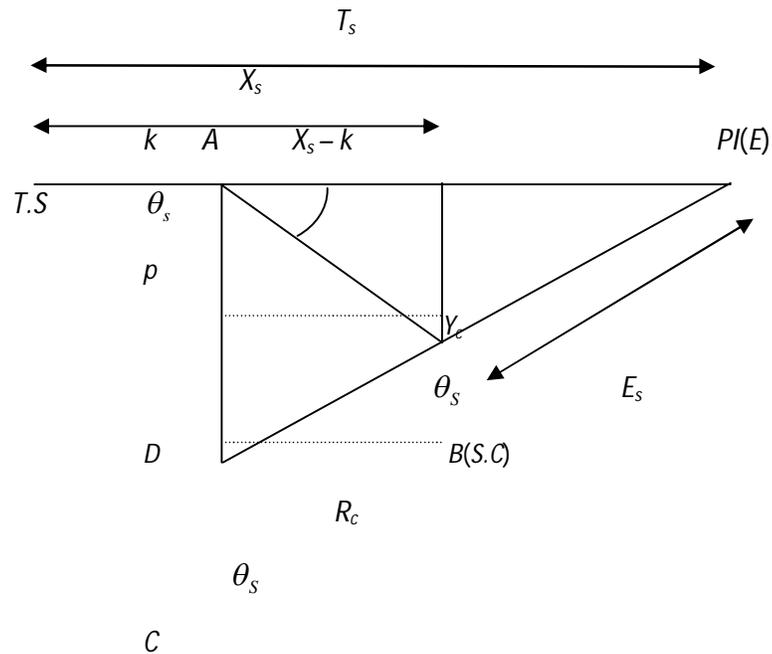
$$X_c = L_s - \frac{L_s^5}{40 \cdot R^2 \cdot L_s^2}$$

Sehingga didapat formula untuk menghitung X_c (Absis titik SC pada garis tangent, jarak titik TS ke SC) adalah:

$$\begin{aligned} X_c &= L_s - \frac{L_s^5}{40 \cdot R^2 \cdot L_s^2} \\ &= L_s - \frac{L_s^3}{40 \cdot R^2} = L_s \left(1 - \frac{L_s^2}{40 \cdot R^2} \right) \end{aligned}$$

Parameter p (pergeseran tangent terhadap Spiral)

Untuk menganalisis parameter p , gambar 5 perlu penyederhanaan seperti pada gambar dibawah ini seperti yang terdapat dalam Shahani [7]:



Gambar 6. Sketsa Pergeseran tangen terhadap Spiral

Dari segitiga BCD diperoleh

$$\cos \theta_s = \frac{R_c + p - Y_c}{R_c}, \text{ sehingga}$$

$$R_c + p - Y_c = R_c \cos \theta_s,$$

$$p = Y_c - R_c + R_c \cos \theta_s,$$

$$= Y_c - R_c (1 - \cos \theta_s),$$

Sehingga didapat formula untuk menghitung nilai p (pergeseran Tangen terhadap Spiral) adalah:

$$p = Y_c - R_c (1 - \cos \theta_s)$$

Parameter k (absis dari PC pada garis tangen Spiral)

Untuk menganalisa parameter k tetap menggunakan gambar 6 yaitu dengan menganalisa segitiga BCD , dimana

$$\sin \theta_s = \frac{X_s - k}{R_c}$$

Sehingga

$$k = X_s - R_c \sin \theta_s,$$

karena $\theta_s = \frac{1}{2} \Delta$, maka didapatkan $k = X_c - R \sin \frac{1}{2} \Delta$

Sehingga didapat formula untuk menghitung nilai k (absis di PC pada garis tangent spiral) adalah:

$$k = X_c - R \sin \frac{1}{2} \Delta$$

Parameter T_s (Panjang Tangen dari titik PI ke titik TS atau ke titik ST)

Untuk menganalisa parameter T_s masih menggunakan gambar 4 yaitu dengan menganalisa segitiga EAC , dimana

$$\tan \theta_s = \frac{T_s - k}{R_c + p'}$$

$$T_s - k = \tan \theta_s (R_c + p)$$

$$T_s = \tan \theta_s (R_c + p) + k$$

Karena nilai jari-jari Spiral pada titik PI merupakan jari-jari terbesar, maka $R = R_c$ dan nilai $\theta_s = \frac{1}{2} \Delta$, maka didapat $T_s = (R_c + p) \tan \frac{1}{2} \Delta + k$

Sehingga didapat formula untuk menghitung nilai k (absis di PC pada garis tangent spiral) adalah:

$$T_s = (R_c + p) \tan \frac{1}{2} \Delta + k$$

Parameter E_s (Jarak PI ke busur lingkaran)

Untuk menganalisa parameter T_s masih menggunakan gambar 6, yaitu dengan menganalisa segitiga EAC , dimana

$$\cos \theta_s = \frac{R_c + p}{R_c + E_s},$$

$$(R_c + E_s) = \frac{R_c + p}{\cos \theta_s}$$

Sehingga diperoleh

$$E_s = \frac{R_c + p}{\cos \theta_s} - R_c$$

Karena nilai jari-jari Spiral pada titik *PI* merupakan jari-jari terbesar, maka $R = R_c$ dan nilai $\theta_s = \frac{1}{2} \Delta$, maka

$$E_s = (R + p) \sec \frac{1}{2} \Delta - R$$

4. SIMPULAN

Berdasarkan analisis dan pembahasan diatas, maka dalam pemilihan tipe tikungan jalan raya, apabila tikungan jalan raya telah didesain didapatkan L_c (panjang lengkung circle) kurang dari 25 meter maka digunakan tikungan tipe *Spiral-Spiral*. Langkah-langkah penurunan formulasi adalah sketsa tikungan tipe *Spiral-Spiral* perlu disederhanakan lagi sehingga didapat satu bagian *Spiral* saja. Bagian *Spiral* tersebut dianalisa dengan pendekatan Geometri melalui penyederhanaan skema sehingga didapat enam formula yang digunakan dalam perhitungan desain tikungan jenis Spiral Spiral yaitu; Y_c (Ordinat titik SC pada garis tegak lurus garis tangen, jarak tegak lurus ke titik SC pada lengkung), X_c (Absis titik SC pada garis tangen, jarak titik TS ke SC), p (pergeseran tangen terhadap spiral), k (absis dari PC pada garis tangen spiral), T_s (Panjang tangen dari titik PI ke titik TS atau ke titik ST), E_s (Jarak PI ke busur lingkaran)

Berdasarkan uraian kesimpulan analisa tersebut di atas, maka di bawah ini disampaikan beberapa saran yang dapat dipertimbangkan untuk perbaikan analisa lebih lanjut yaitu perlunya penambahan variable perancangan tikungan pada medan, misalkan dengan menambahkan variable kemiringan (*superelevasi*) tertentu, dan mencari perubahan antar variable jika salah satu variable yang digunakan dihubungkan dengan kecepatan rencana dan atau lebar jalan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Alamsyah, A.A. 2001. *Rekayasa Jalan raya*. Malang: UMM Press

- [2] Departemen Pekerjaan Umum. 1997. *Buku Tata cara Perencanaan Geometrik jalan Antar Kota No. 038/TBM/1997*. Jakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga.
- [3] Hendarsin, Shirley L. 2000. *Perencanaan Teknik jalan raya*. Bandung: Poltek Negeri Bandung Press
- [4] Meyer, Carl F. 1980. *Survei dan Perencanaan Lintas Jalur – Terjemahan, Route Surveying and Design*. Jakarta: Erlangga
- [5] Mannering, Fred L., dan Walter P. Kilareski. 1990. *Principles of Highway Engineering and Traffic Analysis*, John Wiley & Sons.
- [6] Saodang, Hamirhan. 2004. *Konstruksi jalan Raya (Geometrik Jalan)*. Bandung: Nova
- [7] Shahani, PB. 1975. *Road Techniques (InMetric System)*. Nai Sarak Delhi: Khanna Publishers
- [8] Sukirman, S. 1999. *Dasar – Dasar Pencanaan Geometrik Jalan*. Bandung: Nova