

PERBANDINGAN PENGUKURAN RADIUS LENGKUNG DENGAN MENGGUNAKAN BENANG, TOTAL STATION DAN MESSREG CLS

Wahyu Tamtomo Adi¹, Email: tamtomo@api.ac.id
Dadang Sanjaya Atmaja², Email: dadang@api.ac.id

^{1,2} Teknik Bangunan dan Jalur Perkeretaapian, Akademi Perkeretaapian Indonesia Madiun

ABSTRAK

Pemeriksaan terhadap lengkung jalan rel yang telah dioperasikan dapat dilakukan dengan berbagai alat ukur yang tersedia, namun demikian belum pernah dilakukan perbandingan terhadap output beberapa alat ukur yang digunakan untuk memeriksa lengkung jalan rel. Penelitian ini bermaksud untuk memeriksa lengkung jalan rel dengan membandingkan hasil pengukuran anak panah secara manual dan penggunaan alat ukur digital total station dan Messreg CLS. Penelitian ini juga berusaha memberikan rekomendasi terhadap rencana pemeliharaan lengkung agar kondisi lengkung dapat dioptimalkan untuk dilewati kereta. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa pengukuran lengkung secara manual (benang anak panah) dengan alat ukur digital (total station dan messreg CLS) memberikan hasil yang bervariasi satu sama lain, meskipun tidak berbeda secara signifikan. Hasil pengukuran dengan Total Station dan Messreg CLS menunjukkan nilai rata-rata yang lebih besar dibandingkan hasil pengukuran dengan menggunakan benang Anak Panah. Hasil pemeriksaan juga menunjukkan bahwa agar kondisi lengkung jalan rel dapat menjadi lebih ideal untuk dilewati kereta api, perlu dilaksanakan penggeseran baik ke dalam maupun keluar agar nilai Anak Panah pada tiap-tiap titik yang diukur mendekati nilai ideal yaitu 630 mm.

Kata Kunci: Pemeriksaan, Lengkung, Anak Panah, Total Station, Track Meter Gauge, Messreg CLS

ABSTRACT

Inspection of operated curved railroad can be done with variety of available measuring instruments. However, in Indonesia the output of these measuring instruments to check the curve of railroad has never been compared. This study intended to examine curve radius of the railroad by comparing the results of manual versine measurement using string lining method and digital surveying method using total station and Messreg CLS. The study also want to provide recommendation for maintenance so that curved conditions can be optimized for passing trains. The measurement results shown that string lining method, total stations and messreg CLS varied in results but not significantly different within 95 percent confidence interval. The average of the results by Total Station and Messreg CLS tended to be higher than the results of manual versine. Maintenance of the curve should be done by increase or decrease versine along measurement point on the curve to approach the ideal versine 630 mm.

Keywords: Measurement, Curve, Versine, Total Station, Track Meter Gauge, Messreg CLS

1 PENDAHULUAN

1.1. Latar belakang

Menurut Peraturan Pemerintah Nomor 56 Tahun 2009 tentang penyelenggaraan perkeretaapian dan perubahannya melalui Peraturan Pemerintah Nomor 6 Tahun 2017,

Penyelenggara prasarana perkeretaapian wajib melakukan pemeriksaan untuk menjamin kelaikan prasarana perkeretaapian. Pemeriksaan tersebut dilakukan dalam bentuk pemeriksaan kondisi dan fungsi prasarana perkeretaapian.

Jenis pemeriksaan yang perlu dilaksanakan untuk prasarana jalan rel diantaranya adalah pemeriksaan terhadap geometri jalan rel, yaitu terhadap lebar jalan rel, lengkung vertikal dan horizontal, serta kelandaian.

Berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 31 Tahun 2011 tentang Standar dan Tata Cara Pemeriksaan Prasarana, pemeriksaan dibagi menjadi pemeriksaan berkala dan tidak terjadwal, pemeriksaan berkala dibagi lagi menjadi pemeriksaan harian dan terjadwal.

Pemeriksaan harian dilakukan setiap hari oleh tenaga pemeriksa untuk meyakinkan bahwa jalur kereta api siap untuk dioperasikan dengan jarak yang direkomendasikan sepanjang 4 km sampai dengan 6 km dengan tetap mempertimbangkan ketersediaan tenaga pemeriksa dan lingkungan. Sedangkan pemeriksaan terjadwal dilakukan untuk menjamin kinerja dan keamanan operasi kereta api.

Pemeriksaan harian terdiri dari Pemeriksaan geometri yang meliputi pemeriksaan ruang bebas, pemeriksaan kelurusan, kerataan dan kelandaian jalan rel, pemeriksaan sambungan, pemeriksaan lebar jalan ka dan Pemeriksaan Lengkung.

Dalam pelaksanaan pemeriksaan lengkung aturan pada PM menyebutkan pemeriksaan lengkung dapat dilakukan dengan visual, teodolit, waterpass maupun meteran.

Pemeriksaan terhadap lengkung jalan rel tersebut dapat dilakukan dengan berbagai alat ukur yang tersedia, namun demikian belum pernah dilakukan perbandingan terhadap output beberapa alat ukur yang digunakan untuk memeriksa lengkung jalan rel.

Penelitian ini bermaksud untuk memeriksa lengkung jalan rel dengan studi kasus di lengkung yang ada di Akademi Perkeretaapian Indonesia Madiun dengan membandingkan hasil pemeriksaan manual menggunakan anak panah dan digital menggunakan total station dan Messreg CLS.

1.2. Tujuan

Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan data kondisi lengkung dengan menggunakan metode anak panah, dengan menggunakan pengukuran total station serta dengan menggunakan alat ukur digital Messreg CLS dan membandingkan hasil pengukuran tersebut.

Penelitian ini juga berusaha memberikan rekomendasi terhadap rencana pemeliharaan lengkung agar kondisi lengkung dapat dioptimalkan untuk dilewati kereta.

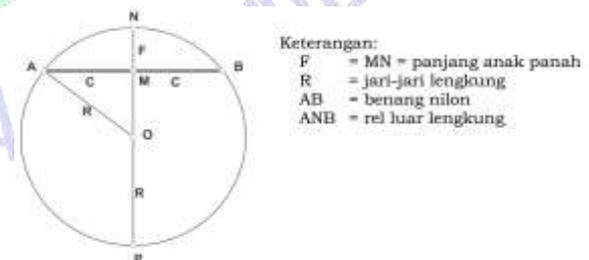
2 PEMERIKSAAN LENGKUNG JALAN REL

2.1. Metode Anak Panah

Petunjuk perawatan berdasarkan PD 10a Perawatan Jalan Rel dengan Lebar 1.067mm menyatakan bahwa Pemeriksaan dan pengukuran berkala lengkung dilakukan dengan cara:

- Mengukur anak panah dari lengkung pada rel luar dengan tali busur sepanjang 20 meter;
- Mengukur peninggian;
- Mengukur lebar jalan rel dan lebar alur rel paksa serta memeriksa kekencangan baut kedudukan rel paksa.

Untuk menentukan panjang anak panah suatu lengkung, dapat menggunakan alat bantu berupa benang nilon dengan panjang tetap, dengan cara mengukur panjang F dari titik tengah rentangan benang nilon A-B di M ke sisi dalam kepala rel luar.



Gambar 1 Anak Panah

$$AM \times MB = MN \times MP$$

Apabila : $AB = 2C$

$$F = MN$$

$R =$ jari-jari lengkung,

maka persamaan 1 akan menjadi :

$$C^2 = F (2R - F)$$

$$C^2 = 2R F - F^2$$

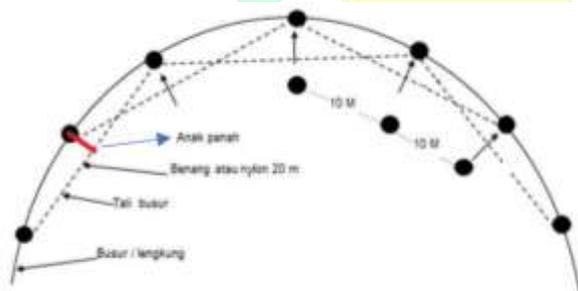
Dalam hal ini, anak panah F sangat kecil dibanding jari-jari R , maka F^2 dapat diabaikan sehingga persamaan 2 dapat disederhanakan menjadi:

$$C^2 = 2R F \quad \text{---->} \quad F = \frac{C^2}{2R}$$

Biasanya besaran anak panah jauh lebih kecil dari radius, rumus ini dibatasi untuk anak panah yang lebih kecil daripada 30 persen radius. Anak panah yang lebih besar dari 30 persen radius harus menggunakan rumus yang lebih detail.

Apabila panjang benang nilon ditetapkan 20 meter, maka $C = 10$ meter, sehingga didapat rumus

$$F = \frac{50}{R} \tag{1}$$



Gambar 2 Posisi Pengukuran AP

Posisi pengukuran anak panah mengikuti pola pada gambar di atas, pengukuran ini dilakukan mulai dari awal lengkung hingga akhir lengkung mengikuti prosedur sebagai berikut:

- a. Tentukan letak titik mulai lengkung
- b. Hitung dan tentukan Panjang Lengkung Peralihan (PLA).
- c. Tulis dan cat kaki rel mulai titik 0 pada awal lengkung peralihan tiap 10 m sampai akhir lengkung.
- a. Ukur besar Anak Panah (AP) dengan membentangkan benang nilon tiap 20 m (2 titik).

2.2. Total Station

Total station adalah alat ukur sudut dan jarak yang terintegrasi dalam satu unit alat. Total station juga sudah dilengkapi dengan processor sehingga bisa menghitung jarak datar, koordinat, dan beda tinggi secara langsung tanpa perlu menggunakan alat bantu perhitungan.

Keutamaan alat ukur Total Station secara umum yaitu Tingkat ketelitian bacaan ukuran jarak berkisar antara 0,1 cm s.d. 0,01cm, kemampuan jarak ukur rata-rata 3.000 meter. Akurasi untuk Total Station Sokkia CX-102 adalah $2+2D/1000$ mm (Topcon, 2011).

Data dari total station dapat langsung di download ke komputer dalam bentuk file titik maupun file gambar. Pengukuran untuk lengkung dengan menggunakan Total Station dilakukan dengan menempatkan prisma ukur pada titik-titik yang telah ditandai pada pengukuran yang menggunakan benang anak panah.

Persiapan pengukuran dengan menggunakan Total Station juga dilakukan dengan mencari titik ikat yang diperlukan yang dapat menjangkau keseluruhan rel yang akan diukur.

Persiapan selanjutnya mengikuti proses sebagai berikut:

- a. Menempatkan alat total station pada tripod di atas BM yang ada di lokasi lengkung.
- b. Menempatkan Prisma statis pada tripod di BM lain sebagai posisi back sight (penentuan arah).
- c. Menempatkan prisma ukur dinamis pada tongkat ukur di atas rel pada titik-titik yang sudah ditandai dengan menggunakan spidol warna putih.
- d. Pengukuran dilakukan untuk setiap titik dari awal lengkung sampai dengan akhir lengkung.
- e. Apabila prisma terhalang oleh semak, pohon atau penghalang lainnya, pengukuran dilakukan dengan mengubah tinggi prisma, sehingga

prisma dapat tetap terbaca dari alat ukur.

- f. Komunikasi antara alat ukur dengan tongkat ukur dilakukan dengan menggunakan HT.

2.3. Messreg CLS

MessReg CLS adalah alat pengukuran geometri jalan rel digital dengan menggunakan troli. Alat ini dapat melakukan pengukuran geometri track digital dan menyimpan data hasil pengukuran, dengan menggunakan rangka penghubung (chord) sepanjang 10 m. Panjang rangka menjamin data pengukuran yang sangat tepat dan andal. Hasil pengukuran secara akurat mewakili kondisi lintasan yang sebenarnya daripada berdasarkan pada ekstrapolasi data murni (seperti yang disampaikan dengan mengukur perangkat dengan rangka pengukuran yang pendek).

Pengukuran menggunakan Messreg CLS dilakukan secara otomatis dan terus-menerus merekam semua parameter geometri track yang relevan (dengan resolusi pengukuran opsional 2 mm atau 250 mm). Data ditampilkan dan disimpan secara grafis dan numeris secara real time. Pengguna juga dapat memasukkan komentar kapan saja dan menyimpannya secara spesifik ke posisi pengukuran yang sedang dilakukan.

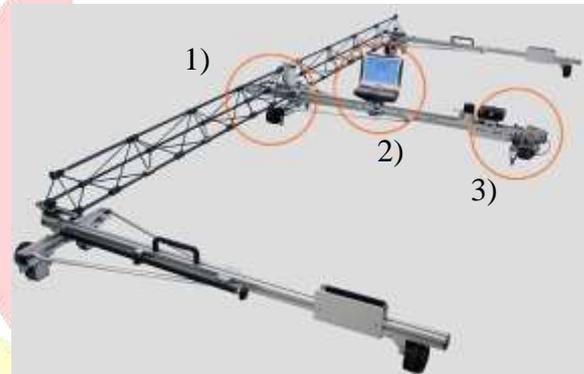
Vogel & Plotscher (2010) menyatakan bahwa dengan desain yang modular, MessReg CLS dapat diatur dan dibongkar hanya dalam beberapa menit dan dapat diatur, dioperasikan, dan dibongkar oleh satu orang.

Parameter jalan rel yang dapat diukur dengan menggunakan alat ini antara lain:

- Track gauge/lebar spur.
- Cant (Peninggian).
- Twist (Skilu).
- Horizontal alignment (versines)/kelengkungan.

- Vertical alignment (longitudinal level).
- Distance/jarak.

Gambar alat pengukuran sebagaimana pada gambar berikut.



Gambar 3 Alat Ukur Messreg CLS

Pengukuran dilakukan dengan menggunakan prosedur:

- a. Persiapan pengukuran dengan merangkai tiga komponen alat sebagaimana pada gambar di atas: Unit pengukuran untuk alignment horizontal dan vertikal (1), Notebook PC MPC 54 sebagai pengolah data pengukuran (2) dan Box tempat sensor inclination dan pengukur jarak (3).
- b. Atur alat pada posisi dan persiapkan sensor-sensor yang diperlukan.
- c. Nyalakan laptop pengukuran, atur posisi alat untuk pengukuran rel dengan lebar sepur rel 1067.
- d. Lakukan kalibrasi terhadap sensor yang dibutuhkan.
- e. Setting parameter pengukuran sesuai dengan kebutuhan pengukuran.
- f. Jalankan alat dengan mendorong sepanjang jalan rel yang akan diukur.

3 METODE PENELITIAN

3.1 Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan mengumpulkan data primer dan sekunder. Data sekunder yang digunakan adalah As Built Drawing jalan rel untuk mengetahui

identitas lengkung yang menjadi objek penelitian. Data primer didapatkan dengan mengukur Anak Panah lengkung menggunakan alat benang nilon, Total Station, dan Messreg CLS. Lokasi yang menjadi objek studi pengukuran adalah pada lengkung sebelah timur area kampus API Madiun.

Data hasil pengukuran diolah sesuai dengan karakteristik data masing-masing alat ukur. Titik-titik pada lengkung yang menjadi objek pengukuran ditandai dengan warna putih dan angka sehingga setiap pengukuran bisa dibandingkan satu dengan yang lain.

3.2 Metode Perbandingan Hasil Pengukuran

Hasil pengukuran dibandingkan dengan beberapa cara, antara lain: analisis statistik deskriptif, analisis grafik dan analisis variansi.

Analisis variansi digunakan untuk membandingkan rata-rata dari tiga kelompok sampel, sehingga hipotesis matematikanya (untuk 3 kelompok) adalah:

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$$

H_1 : Tidak semua populasi memiliki rata-rata hitung μ (mean) yang sama

Penggunaan “variance” sesuai dengan prinsip dasar perbedaan sampel dilihat dari variabilitasnya. Ukuran yang baik untuk melihat variabilitas adalah variance atau standard deviation (simpangan baku).

$F > F_{crit} = H_0$ ditolak

$F < F_{crit} = H_0$ diterima

F dihitung dengan rumus

$$F = \frac{S_b^2 \text{ (Estimasi } \sigma^2 \text{ metode antara)}}{S_w^2 \text{ (Estimasi } \sigma^2 \text{ metode dalam)}} \quad (2)$$

Nilai F_{crit} didapat dari table (grafik) distribusi F.

4 HASIL DAN DISKUSI

4.1 Hasil Pengukuran Anak Panah dengan Benang

Dokumen *As-built drawing* menunjukkan bahwa lengkung sebelah timur dimulai dari STA 0+200 sampai dengan STA 0+450 yang memiliki radius 80 meter dengan lengkung peralihan sepanjang 20 meter. Dengan demikian, hasil pengukuran pada lengkung sempurna akan menghasilkan 21 titik pengukuran, pengukuran pada lengkung peralihan tidak dimasukkan dalam perbandingan data hasil pengukuran masing-masing alat.

Pengukuran anak panah menghasilkan data AP dalam mm yang selanjutnya dihitung menjadi Radius dalam meter sebagaimana pada tabel berikut.

Tabel 1 Hasil Pengukuran Anak Panah

N o	AP (mm)	R(m)	N o	AP (mm)	R(m)
1	880	57	12	400	125
2	900	56	13	410	122
3	530	94	14	358	140
4	510	98	15	469	107
5	640	78	16	450	111
6	610	82	17	470	106
7	620	81	18	579	86
8	545	92	19	910	55
9	680	74	20	1150	43
10	690	72	21	1110	45
11	630	79			

Statistik deskriptif pada radius lengkung menunjukkan bahwa nilai rata-rata adalah 85 meter dengan standar deviasi 26 m, nilai maksimum 140m dan minimum adalah 43 m.

4.2 Hasil Pengukuran Total Station

Hasil pengukuran menggunakan total station menghasilkan koordinat X,Y dan Z yang direkam secara otomatis pada alat, Data ini

dipindahkan ke computer untuk pengolahan data.

Perhitungan Radius lengkung untuk data hasil total station dilakukan dengan menggunakan alat bantu software Autocad dengan cara membuat lingkaran berdasarkan tiga titik yang dilalui oleh lengkung yang sama dengan dengan titik yang diukur dengan menggunakan benang untuk metode Anak Panah. Dari hasil lingkaran tersebut dapat diketahui radius dengan menggunakan software Autocad.

Data hasil perhitungan radius pada lengkung dengan menggunakan alat total station sebagaimana pada tabel berikut:

Tabel 2 Hasil Radius Alat Total Station

No.	R (m)	No.	R (m)
1	87	12	121
2	60	13	125
3	98	14	150
4	99	15	98
5	79	16	117
6	89	17	118
7	77	18	79
8	95	19	54
9	69	20	44
10	74	21	46
11	74		

Statistik deskriptif pada hasil radius lengkung ini menunjukkan bahwa nilai rata-rata adalah 88 meter dengan standar deviasi 27 meter, nilai maksimum 150 meter dan minimum adalah 44 meter. Hasil ini menunjukkan bahwa hasil Total Station memberikan nilai yang cenderung lebih besar dibandingkan hasil pengukuran dengan menggunakan benang anak panah.

4.3 Hasil Pengukuran MessregCLS

Messreg CLS merupakan alat ukur yang efisien untuk melaksanakan pengukuran dalam pelaksanaan pemeriksaan atau

evaluasi geometri jalan rel. Data yang dihasilkan adalah data kontinu dengan pembacaan yang dapat disetting hingga 2mm. Dalam penelitian ini, disetting pembacaan dilakukan untuk setiap 1 meter jalan rel.

Hasil pengukuran terekam secara otomatis pada laptop yang digunakan, program pada pengukuran tersebut juga dilengkapi dengan analisis terhadap data yang dibutuhkan, analisis diberikan dalam bentuk grafik hasil pengukuran.

Pengukuran menggunakan Messreg CLS menggunakan rangka dengan panjang 10 meter, sehingga hasilnya akan sedikit berbeda dengan pengukurang yang menggunakan benang sepanjang 20 meter.

Pada titik-titik yang sama dengan titik lokasi pengukuran Anak Panah didapatkan hasil radius lengkung sebagai berikut:

Tabel 3 Hasil Radius Alat Messreg CLS

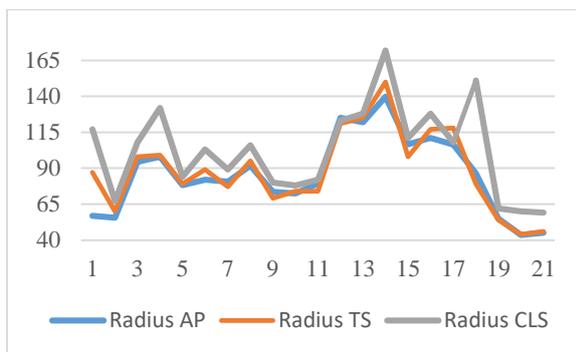
No.	R (m)	No.	R (m)
1	117	12	123
2	67	13	128
3	108	14	172
4	132	15	111
5	84	16	128
6	103	17	108
7	89	18	151
8	106	19	62
9	80	20	60
10	78	21	59
11	82		

Statistik deskriptif untuk hasil radius lengkung ini menunjukkan bahwa nilai rata-rata adalah 102 meter dengan standar deviasi 30 meter, nilai maksimum 172 meter dan minimum adalah 59 meter. Hasil ini menunjukkan bahwa hasil Messreg CLS memberikan nilai yang cenderung lebih besar dibandingkan hasil pengukuran dengan menggunakan benang anak panah dan Total Station.

4.4 Perbandingan Hasil Pengukuran

Hasil pengukuran terhadap radius lengkung dengan menggunakan tiga alat: benang (Anak Panah), Total Station dan Messreg CLS perlu dibandingkan secara lebih lanjut untuk melihat variasi dari setiap alat ukur yang digunakan.

Salah satu metode untuk menganalisisnya adalah dengan menggunakan perbandingan secara grafis, hasil radius dari ketiga alat ukur dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 4 Perbandingan Radius dari Tiga Alat Ukur

Secara grafis dapat dilihat bahwa hasil pengukuran menggunakan benang (anak panah) memiliki nilai yang mirip dengan hasil pengukuran dengan menggunakan Total Station, sedangkan hasil pengukuran menggunakan Messreg CLS memiliki nilai yang cenderung lebih besar daripada hasil pengukuran lainnya.

Untuk analisis lebih lanjut terhadap hasil pengukuran ini, diterapkan metode statistik analisis keberagaman (*Analisis of Variance*) terhadap ketiga alat, yang dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4 *Analisis of Variance*

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F _{cr}
Between Groups	3438	2	1719	2.1	0.12	3.15
Within Groups	48027	60	800.45			

Total 51465 62

Pengujian dilakukan dengan mengikuti hipotesis berikut:

H₀ : Rata-rata hitung (μ) hasil perhitungan radius dengan menggunakan ketiga alat adalah sama.

H₁ : Tidak semua hasil perhitungan radius memiliki rata-rata hitung (μ) yang sama.

$F > F_{crit} = H_0$ ditolak

$F < F_{crit} = H_0$ diterima

$F = 2.1148 < F_{crit} = 3.150$

Hal ini menunjukkan bahwa tidak ada data yang berbeda secara signifikan dari hasil pengukuran ketiga alat tersebut pada selang kepercayaan 95 persen.

Dari hasil ini bisa disimpulkan bahwa semua alat ukur yang digunakan menghasilkan nilai yang tidak berbeda satu sama lain. Namun demikian, hasil penelitian ini belum bisa menunjukkan alat ukur mana yang lebih baik untuk digunakan dalam mengukur lebar sepur pada lengkung tempat pengambilan data dilakukan.

4.5 Pembahasan

Pengukuran lengkung, baik secara manual maupun digital, diharapkan menghasilkan nilai yang tidak berbeda. Walaupun hasil penelitian ini menunjukkan hasil analisis keberagaman yang menyatakan bahwa nilai tidak berbeda secara signifikan pada selang kepercayaan 95 persen, namun hasil perbandingan statistik deskriptif dan analisis secara grafis menunjukkan bahwa ada perbedaan yang cukup kentara dari ketiga alat ukur.

Pengukuran anak panah (versine) dengan menggunakan benang, digunakan penggaris dengan akurasi pembacaan dalam millimeter, sehingga bisa dikatakan hasil pengukuran dengan menggunakan anak panah dapat diandalkan. Pengukuran dengan menggunakan benang juga tergolong

sederhana, efisien serta tidak membutuhkan waktu persiapan yang panjang sehingga metode ini yang paling banyak digunakan dalam pengukuran lengkung. Menurut Chandra dan Agarwal (2007), Penggeseran rel dengan menggunakan teodolit lebih sulit dan memerlukan banyak tenaga kerja, sehingga lengkung eksisting biasanya dicek dengan mengukur dan melakukan perbaikan terhadap anak panah.

Pengukuran lengkung dengan menggunakan total station menghasilkan akurasi pengukuran jarak $2+(2D/1000)$ mm dan akurasi pengukuran sudut $2''$. Semakin jauh jarak pengukuran, maka akurasi pengukuran jarak semakin berkurang, pada pengukuran sejauh 100 meter bisa terdapat penyimpangan sebesar 20 cm. Pengukuran dengan alat ini juga memiliki beberapa kelemahan seperti persiapan yang dibutuhkan cukup lama, peralatan yang mahal, serta membutuhkan latihan dan pengalaman yang lebih teknis dibandingkan dengan pengukuran manual menggunakan benang. Prisma ukur yang tidak tegak (miring) dapat mempengaruhi hasil pengukuran disamping potensi kesulitan pengukuran akibat perlunya perpindahan alat pada beberapa titik Benchmark (BM) agar dapat menjangkau seluruh bagian lengkung, terutama untuk lengkung yang panjang.

Pengukuran dengan menggunakan Messreg CLS dilaksanakan secara dinamis dengan mendorong alat secara konstan melewati jalan rel yang diukur. Alat ini dapat menampilkan secara digital berbagai parameter yaitu lebar sepur, beda tinggi, Skilu, kelengkungan, jarak, serta kelandaian jalan rel. Untuk pengukuran anak panah, toleransinya adalah ± 3 mm, sehingga bisa dikatakan cukup akurat. Pencatatan data secara otomatis dapat dilakukan untuk setiap meter pengukuran, sehingga banyak data yang dapat dianalisis. Perbedaan hasil pada radius lengkung dengan alat ukur lainnya,

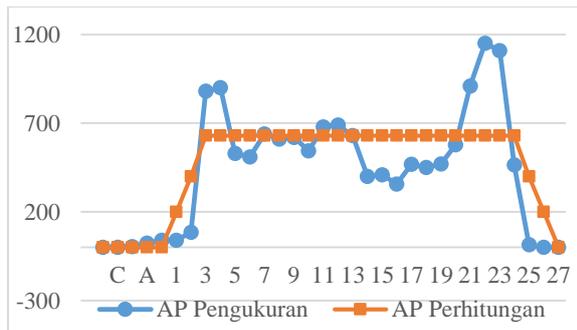
disebabkan oleh panjang busur yang berbeda, dimana pada alat ini menggunakan panjang busur 10 meter yang lebih memungkinkan untuk digerakkan sepanjang jalan rel dengan tenaga manusia. Hasil pengukuran ini merupakan pengukuran yang bersifat statis sehingga belum dapat dibandingkan dengan pengukuran lengkung dinamis yang menggunakan kereta ukur atau kendaraan rel lainnya. Namun demikian Messreg CLS sudah dapat menyajikan output pengukuran sebagaimana hasil pengukuran dengan kereta ukur.

Hasil pengukuran lengkung dapat menjadi rekomendasi untuk perbaikan lengkung baik untuk penggeseran agar radius lengkung dalam keadaan ideal untuk dilewati sesuai dengan kecepatan rencana.

Penggeseran rel pada lengkung dapat dilakukan dengan tahapan sebagai berikut.

- a. Penggeseran lengkung ke luar atau ke dalam di suatu titik akan berpengaruh pada titik depan dan titik belakang. Besar pengaruh geseran belakang dan besar pengaruh geseran belakang adalah $-\frac{1}{2}$ (negatif setengah) dari geseran di titik tersebut.
- b. Jumlah geseran yang dihasilkan di suatu titik adalah penjumlahan dari geseran, pengaruh geseran depan, dan pengaruh geseran belakang.
- c. Pekerjaan geseran direncanakan sampai mendapat nilai anak panah yang hampir sama satu sama lain.
- d. Nilai anak panah yang diharapkan pada lengkung ini untuk memenuhi radius 80 meter adalah 630 mm.

Perencanaan penggeseran jalan rel menghasilkan diagram seperti pada gambar berikut.



Gambar 5 Diagram Geseran Lengkung

Gambar ini menunjukkan bahwa pada awal dan akhir lengkung perlu dilakukan penggeseran agar radius jalan rel menghasilkan radius sebagaimana yang direncanakan, yaitu 80 meter. Ada bagian jalan rel yang membutuhkan penggeseran ke dalam dan ada yang membutuhkan penggeseran ke luar untuk mengembalikan lengkung tersebut ke kondisi yang seharusnya.

5 KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil uraian ini, dapat diambil kesimpulan bahwa pengukuran lengkung secara manual (benang anak panah) dengan alat ukur digital (Total Station dan Messreg CLS) memberikan hasil yang bervariasi satu sama lain, meskipun secara statistik tidak berbeda secara signifikan dalam selang kepercayaan 95 persen.

Hasil pengukuran dengan Total Station dan Messreg CLS menunjukkan nilai rata-rata yang lebih besar dibandingkan hasil pengukuran dengan menggunakan benang Anak Panah.

Hasil pemeriksaan menunjukkan bahwa agar kondisi lengkung jalan rel dapat menjadi lebih idel untuk dilewati kereta api, perlu dilaksanakan penggeseran baik ke dalam maupun keluar agar nilai Anak Panah pada tiap-tiap titik yang diukur mendekati nilai ideal yaitu 630 mm.

5.2 Saran

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa dalam pelaksanaan pemeriksaan jalan rel dibutuhkan perencanaan dan persiapan yang meliputi pemilihan alat ukur dan metode pengukuran. Hal ini juga terkait dengan keahlian SDM yang melakukan pengukuran, untuk setiap pengukuran perlu menggunakan peralatan yang telah terkalibrasi dan SDM yang telah mengikuti pelatihan penggunaan alat ukur.

Perbandingan lebih lanjut dengan menggunakan multi kriteria analisis untuk setiap peralatan yang akan digunakan yang dapat meliputi efisiensi, efektifitas, akurasi, waktu, dan berbagai faktor yang dapat mempengaruhi pengambilan keputusan penggunaan alat dapat dilakukan untuk mengetahui alat-alat yang lebih fungsional dalam pelaksanaan pengukuran lengkung jalan rel.

6 DAFTAR PUSTAKA

- Chandra, Satish dan Agarwal, M.M., "Railway Engineering." Oxford University Press. New Delhi, India, 2017.
- PT KAI Persero, "PD 10a Perawatan Jalan Rel dengan Lebar 1.067mm" Bandung, 2016.
- Kementerian Perhubungan, "Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 31 Tahun 2011 tentang Standar dan Tata Cara Pemeriksaan Prasarana", Jakarta, 2011.
- Republik Indonesia, "Peraturan Pemerintah Nomor 56 Tahun 2009 tentang penyelenggaraan perkeretaapian", Jakarta, 2009.
- Republik Indonesia, "Peraturan Pemerintah Nomor 6 Tahun 2017 tentang penyelenggaraan perkeretaapian", Jakarta, 2017.
- Topcon Corporation, "Sokkia CX Series Operator's Manual." Topcon Corporation, Tokyo, 2011.

Vogel & Plotscher, Operating Manual
Messreg CLS. Breisach, Germany,
2010.

