

Penerapan Diagram Kendali Regresi *Spline* dalam Pengendalian Data Hasil Uji Kualitas Pengolahan Air Limbah di Perusahaan Industri Tekstil CV. Sandang Sari

Onih Siti Fathonah *, Teti Sofia Yanti

Prodi Statistika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Islam Bandung, Indonesia.

onihsf@gmail.com, tetisofiyanti@unisba.ac.id

Abstract. A spline regression control chart is a control chart whose center line uses the best regression model using the optimum knot points. This spline regression is a polynomial regression which is divided into several segments or parts, where in a segment it is limited to certain knot points and is continuous, making the regression have flexible properties compared to ordinary polynomials. This spline regression control diagram is suitable for data that often changes either increase or decrease. The data used in this analysis are the results of wastewater treatment quality tests at the textile industry company CV. Sandang Sari which were carried out in January 2018 - December 2021. The variables used are pH (degree of acidity) as the dependent variable (y) and time (month) as the independent variable (x). The best model obtained in this study is a model that is in order 2 with 3 knot points, the smallest CGV value is 0.0662, with its position being $\xi_1 = -6, \xi_2 = -4, \xi_3 = -3$. With a coefficient of determination of 0.5773 (this spline regression model is strong enough to explain changes in pH). The final results of the spline regression control diagram show that there is still one observation that is outside the control limits, namely the last observation data, so it can be said that the observation is still not under control.

Keywords: *Spline Regression, Spline Regression Control Chart, pH.*

Abstrak. Diagram kendali regresi spline merupakan diagram kendali yang garis pusatnya menggunakan model regresi terbaik dengan menggunakan titik knot optimum. Regresi spline ini suatu regresi polinomial yang terbagi menjadi beberapa segmen atau bagian, dimana pada suatu segmen tersebut dibatasi titik-titik knot tertentu dan kontinu sehingga menjadikan regresi tersebut memiliki sifat yang fleksibel dibandingkan dengan polinomial biasa. Diagram kendali regresi spline ini cocok digunakan untuk data yang seringkali berubah-ubah baik mengalami kenaikan ataupun penurunan. Data yang digunakan dalam analisis ini tentang data hasil uji kualitas pengolahan air limbah di perusahaan industri tekstil CV. Sandang Sari yang dilakukan pada Januari 2018 – Desember 2021. Variabel yang digunakannya yaitu pH (derajat keasaman) sebagai variabel dependen (y) dan waktu (bulan) sebagai variabel independen (x). Model terbaik yang didapatkan pada penelitian ini yaitu model yang berada pada orde 2 dengan 3 titik knot, nilai CGV terkecilnya sebesar 0.0662, dengan posisi $\xi_1 = -6, \xi_2 = -4, \xi_3 = -3$. Dengan nilai koefisien determinasi sebesar 0.5773 (model regresi spline ini cukup kuat dalam menjelaskan perubahan pH). Hasil akhir dari diagram kendali regresi spline menunjukkan bahwa masih terdapat satu pengamatan yang berada diluar batas kendali yaitu data pengamatan terakhir, maka dapat dikatakan bahwa pengamatan masih belum terkendali.

Kata Kunci: *Regresi Spline, Diagram Kendali Regresi Spline, pH.*

A. Pendahuluan

Diagram kendali regresi spline merupakan suatu alat statistik yang biasa digunakan untuk memantau suatu proses yang berbasis pada suatu model regresi yaitu model regresi spline. Keunggulan diagram kendali regresi spline dibandingkan dengan diagram kendali biasa yaitu dapat mengatasi data yang memiliki pola yang berubah-ubah atau tidak konstan yang sering kali mengalami kenaikan ataupun penurunan (John dan Agarwal, 2019).

Regresi spline termasuk salah satu bentuk analisis regresi nonparametrik yang digunakan untuk memperoleh dugaan kurva regresi dengan cara mengestimasi pola data sesuai pergerakannya dengan menggunakan titik-titik knot. Regresi spline ini memiliki beberapa keunggulan, diantaranya yaitu memiliki interpretasi visual yang sangat baik, dapat mengatasi pola data yang menunjukkan adanya perubahan-perubahan pada sub interval tertentu, memiliki sifat fleksibilitas yang tinggi, dan juga mempunyai kemampuan yang cukup baik untuk digeneralisasikan pada pemodelan statistika yang kompleks dan sedikit rumit (Budiantara, 2011). Sedangkan diagram kendali merupakan grafik yang biasanya digunakan untuk melihat suatu proses berada dalam pengendalian secara statistik atau tidak.

Dalam lingkungan yang kita tempati pastinya secara sadar ataupun tidak terdapat suatu proses produksi yang sedang berlangsung. Dimana proses produksi ini merupakan suatu rangkaian yang dilakukan untuk menghasilkan suatu barang produksi. Dalam setiap proses produksi yang meningkat pasti memiliki dampak positif dan dampak negatif, dan juga akan menghasilkan dan menyisakan sebuah limbah.

Limbah merupakan suatu hasil sisa dari sebuah kegiatan atau proses yang kemungkinan besar sudah tidak memiliki nilai ekonomi ataupun sudah tidak memiliki manfaat lagi. Terdapat tiga jenis limbah yaitu limbah padat, limbah cair, dan limbah gas. Dalam proses produksi industri tentu akan menghasilkan dan menyisakan limbah yang cukup besar, salah satunya yaitu limbah cair. Dan limbah cair ini memiliki tiga karakteristik yaitu karakteristik fisik, kimia, dan biologi. Karakteristik yang diperhatikan pada penelitian ini adalah karakteristik kimia berupa derajat keasaman. Derajat Keasaman merupakan suatu ukuran yang menentukan sifat asam atau basa. Skala nilai pH berkisar antara 1-14. Yang mana pada nilai pH kisaran 1-7 itu menunjukkan kondisi asam, nilai pH sebesar 7 menunjukkan kondisi netral, dan nilai pH kisaran 7-14 itu menentukan kondisi basa (Randy, 2021). Derajat keasaman (pH) ini dapat berubah-ubah karena faktor lingkungan sekitarnya. Maka hal tersebut perlu sangat diperhatikan agar tidak memberikan dampak negatif untuk lingkungan sekitarnya.

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka perumusan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut: “Apakah data hasil uji kualitas pengolahan air limbah di perusahaan industri tekstil CV. Sandang Sari ini terkendali atau tidak?”. Selanjutnya, tujuan dalam penelitian yaitu untuk mengetahui apakah data hasil uji kualitas pengolahan air limbah di perusahaan industri tekstil CV. Sandang Sari ini berada dalam keadaan terkendali atau tidak dengan menggunakan diagram kendali regresi spline.

B. Metode

Dalam penelitian ini peneliti menggunakan metode diagram kendali regresi spline. Data yang digunakan itu data sekunder yaitu data hasil uji kualitas pengolahan air limbah di perusahaan industri tekstil CV. Sandang Sari yang dilakukan pada Januari 2018 – Desember 2021 sebanyak 48 sampel.

Regresi spline memungkinkan untuk berbagai macam orde sehingga didapatkan beberapa bentuk diantaranya yaitu regresi spline linier, regresi spline kuadrat, dan regresi spline kubik ataupun orde m . Fungsi regresi spline yang berorde m dapat didefinisikan sebagai fungsi dengan titik knot $\xi_1, \dots, \xi_k$ dimana $a < \xi_1 < \dots < \xi_k < b$ yang dapat disajikan dengan bentuk model sebagai berikut:

$$y = \sum_{j=0}^m \beta_j x^j + \sum_{j=1}^k \gamma_j (x - \xi_j)_+^m + \varepsilon$$

Dengan fungsi *truncated* :

$$(x - \xi_j)_+^m = \begin{cases} (x - \xi_j)_+^m & ; x - \xi_j \geq 0 \\ 0 & ; x - \xi_j < 0 \end{cases}$$

Keterangan:

β_j : parameter milik x
 γ_j : parameter milik knot
 k : banyaknya knot
 m : orde
 $(x - \xi_j)_+^m$: nilai *truncated*
 a : nilai terkecil
 b : nilai terbesar

Dimana tanda + pada fungsi *truncated* di atas merupakan suatu pilihan, jika $x - \xi_j$ menghasilkan nilai yang positif atau lebih besar dari 0 maka akan terdapat nilai dari *truncated* nya yaitu sebesar $(x - \xi_j)^m$, sedangkan jika $x - \xi_j$ menghasilkan nilai yang negatif atau kurang dari 0 maka nilainya akan disama dengankan 0.

Regresi spline *truncated* pemilihan titik knot optimum menggunakan metode *Generalized Cross-Validation* (GCV) dengan rumus sebagai berikut:

$$GCV(\xi) = \frac{MSE(\xi)}{(n^{-1} \text{trace}[I - A(\xi)])^2}$$

Keterangan:

n : jumlah data

I : matriks identitas

ξ : knot

$$A(\xi) = X(X'X)^{-1}X'$$

Suatu model regresi dapat dikatakan baik jika nilai residualnya itu berdistribusi normal. Uji normalitas yang digunakan yaitu Uji *Kolmogorov-Smirnov*. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah data yang digunakan telah mengikuti pola distribusi tertentu atau tidak.

Pengujian parameter model biasa digunakan dalam mengetahui apakah terdapat pengaruh yang signifikan antara variabel dependen dan variabel independen. Pengujian model pada regresi spline ini dilakukan saat telah mendapatkan model regresi terbaik melalui titik knot optimum yang berdasarkan pada nilai *Generalized Cross-Validation* (GCV) paling minimum. Pengujian ini dapat dilakukan secara serentak melalui uji F (Anova) dan secara parsial melalui uji-t (parsial).

Uji Anova merupakan pengujian yang digunakan untuk melihat apakah variabel independen mempengaruhi variabel dependennya atau tidak. Sedangkan uji parsial digunakan untuk melihat apakah pada suatu model regresi tersebut variabel independen berpengaruh secara signifikan terhadap variabel dependen.

Koefisien determinasi (R^2) yaitu nilai yang menjelaskan seberapa besar kemampuan variabel independen dalam menjelaskan varians dari variabel dependennya. Nilai koefisien determinasi biasanya berada diantara 0 sampai 1. Yang mana koefisien determinasi ini didapatkan dengan cara mengkuadratkan koefisien korelasi (R^2). Atau menggunakan rumus berikut:

$$R^2 = 1 - \frac{JKR}{JKT}$$

Keterangan :

x : variabel independen

y : variabel dependen

n : banyaknya sampel data

$$JKR = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$$

$$JKT = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$$

Diagram kendali regresi spline merupakan suatu diagram kendali yang mana batas kendali atas (BKA) dan batas kendali bawah (BKB) menggunakan rumus biasa sedangkan garis pusat (GP) menggunakan model regresi terbaik dengan menggunakan titik knot optimum. Berikut rumus yang digunakan dalam diagram kendali regresi spline (John dan Agarwal, 2019) :

$$\text{BKA} = GP + A_2 \bar{R}$$

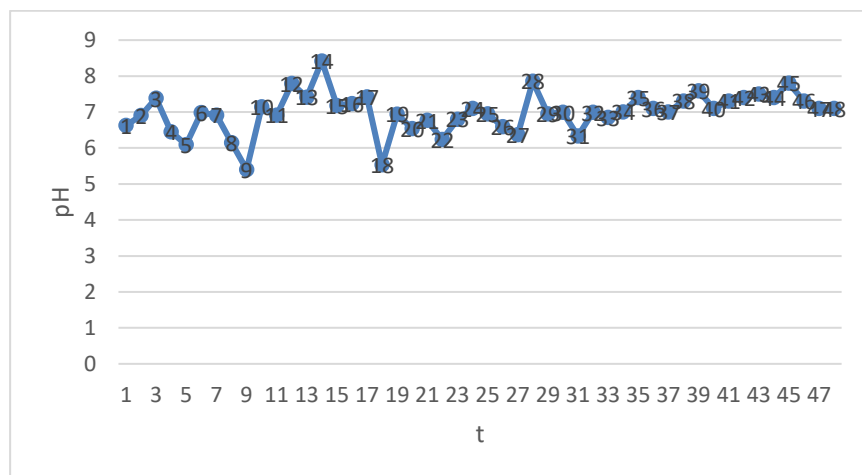
$$\text{GP} = \hat{y} \text{ dari Model Regresi Spline terbaik}$$

$$\text{BKB} = GP - A_2 \bar{R}$$

C. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Bagian Deskripsi Data

Deskripsi Data ini memberikan gambaran umum mengenai suatu kumpulan dan sebaran data. Grafik berikut merupakan deskripsi data dari variabel-variabel yang digunakan dalam penelitian.



Gambar 1. Grafik variabel waktu dan pH

Dari hasil grafik di atas dapat terlihat bahwa banyaknya data sampel yang digunakan yaitu sebanyak 48 bulan, dari Januari 2018 hingga Desember 2021. Data terkecil yaitu data ke-9 dengan nilai sebesar 5.4 dan data terbesar yaitu data ke-14 dengan nilai sebesar 8.42. keseluruhan nilai pH berada antara nilai 5 hingga 9.

Menghitung nilai Batas Kendali Atas (BKA) dan Batas Kendali Bawah (BKB)

Dari data yang tersedia dihitung nilai range dan rata-rata tiga bulanan hasilnya disajikan pada tabel 1

Tabel 1. Ringkasan Data Berdasarkan Koding

Periode	t	Bulan	pH	Range	Rata-rata
1	-8	Jan-18	6,63	0,75	6,97
		Feb-18	6,905		
		Mar-18	7,38		
		Apr-18	6,451		
2	-7	Mei-18	6,09	0,89	6,507
		Jun-18	6,98		
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
16	8	Okt-21	7,3	0,2	7,167
		Nov-21	7,1		
		Des-21	7,1		

Dengan adanya tabel bantuan di atas dapat memudahkan dalam menghitung nilai BKA dan nilai BKB dengan salah satu uraian seperti berikut:

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_j}{m} = \frac{0.75 + 0.89 + \dots + 0.2}{16} = 0.77865$$

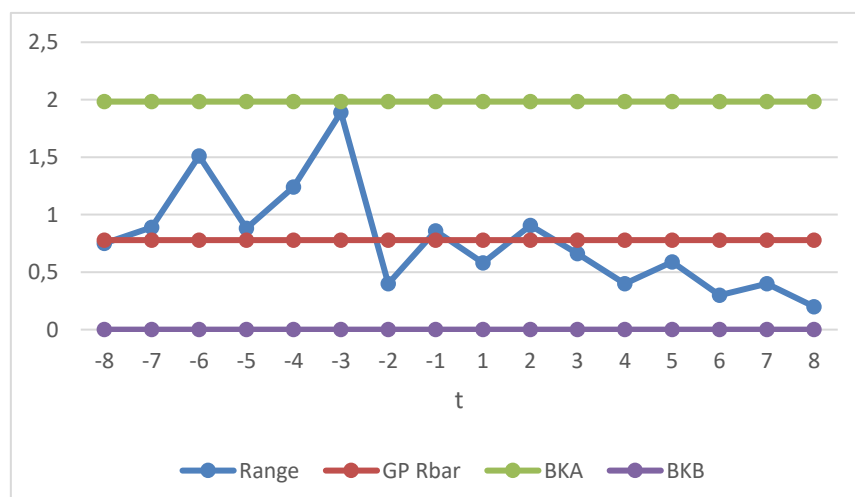
$$BKA = D_4 \bar{R} = D_4(0.77865) = 2.574(0.77865) = 1.983222$$

$$BKB = D_3 \bar{R} = D_3(0.77865) = 0(0.77865) = 0$$

Tabel 2. Hasil Nilai BKA dan BKB

No	t	Range	GP ($\bar{R}$)	BKA	BKB
1	-8	0,75	0,77865	1,983222	0
2	-7	0,89	0,77865	1,983222	0
3	-6	1,51	0,77865	1,983222	0
4	-5	0,88	0,77865	1,983222	0
5	-4	1,24	0,77865	1,983222	0
6	-3	1,89	0,77865	1,983222	0
7	-2	0,4	0,77865	1,983222	0
8	-1	0,86	0,77865	1,983222	0
9	1	0,58	0,77865	1,983222	0
10	2	0,907	0,77865	1,983222	0
11	3	0,6614	0,77865	1,983222	0
12	4	0,4	0,77865	1,983222	0
13	5	0,59	0,77865	1,983222	0
14	6	0,3	0,77865	1,983222	0
15	7	0,4	0,77865	1,983222	0
16	8	0,2	0,77865	1,983222	0

Dari tabel bantuan di atas kemudian dibuat diagram kendali dan didapatkan hasil sebagai berikut:



Gambar 2. Grafik Diagram Kendali variabel pH

Berdasarkan gambar di atas dapat diketahui bahwa pada diagram kendali antara variabel waktu dan derajat keasaman (pH) tidak ada data yang diluar kendali, sehingga dapat dikatakan pengamatan sudah berada dalam batas kendali.

Estimasi Model Regresi Spline

Tabel 3. Hasil nilai GCV untuk estimasi model terbaik

No	Orde dan titik knot	Nilai GCV	Nilai MSE	Posisi Knot
1.	orde 1 dengan 1 titik knot	0.1793	0.1576	-8
2.	orde 1 dengan 2 titik knot	0.1793	0.1576	-8, -7
3.	orde 1 dengan 3 titik knot	23.041	19.251	-8, -7, -6
4.	orde 1 dengan 4 titik knot	20.513	19.251	-8, -7,
5.	orde 1 dengan 5 titik knot	1.8298	1.6015	-8, -7,
6.	orde 2 dengan 1 titik knot	0.1627	0.1246	8
7.	orde 2 dengan 2 titik knot	0.1532	0.0861	-6, -5
8.	orde 2 dengan 3 titik knot	0.0662*	0.0313	-6, -4, -3
9.	orde 2 dengan 4 titik knot	0.0645	0.0251	-6, -5,
10.	orde 2 dengan 5 titik knot	0.0645	0.0251	-6, -5,
11.	orde 3 dengan 1 titik knot	0.1847	0.1219	8
12.	orde 3 dengan 2 titik knot	0.1515	0.0716	-5, -4
13.	orde 3 dengan 3 titik knot	0.0838	0.0327	-5, -4, -2
14.	orde 3 dengan 4 titik knot	0.0790	0.0245	-6, -6,
15.	orde 3 dengan 5 titik knot	0.0662	0.0165	-6, -5,

Dari tabel di atas, dapat diketahui bahwa nilai GCV terkecil yaitu berada pada orde ke-2 dengan 4 dan 5 titik knot, tetapi pada orde tersebut posisi knot lengkap sehingga model yang posisi knot tidak lengkap dan nilai GCV terkecil itu dari orde 2 dengan 3 titik knot yang mana nilai GCV nya sebesar 0.0662, maka orde 2 dengan 3 titik knot ditetapkan sebagai model regresi spline terbaik. Dengan posisi $\xi_1 = -6, \xi_2 = -4, \xi_3 = -3$, sehingga terbentuklah model terbaik seperti berikut:

$$\hat{y} = 36.9720 + 9.0386x - 0.6624x^2 + 1.0644(x + 6)_+^2 + 0.6468(x + 4)_+^2 - 0.2374(x + 3)_+^2$$

Pengujian Asumsi Residual

Pengujian ini bertujuan untuk melihat apakah residual data berdistribusi normal atau tidak, dengan menggunakan uji *kolmogorov smirnov*. Dengan bantuan tabel sebagai berikut:

Tabel 4. Hasil Uji Asumsi Residual

D	P-value	Keputusan
0.177	0.150	Residual berdistribusi normal

Berdasarkan Tabel di atas dengan menggunakan α sebesar 0,1 dapat disimpulkan bahwa residual berdistribusi normal.

Pengujian Signifikansi Model

Uji signifikansi model digunakan untuk mengukur kelayakan model regresi yang telah dibentuk. Pada penelitian ini terdapat satu variabel independen dan satu variabel dependen dan uji signifikansi yang digunakan pada penelitian ini adalah uji simultan (anova) dan uji parsial (t).

Tabel 5. Hasil Uji Simultan

Sumber Variasi	Derajat bebas	Sum Square	Mean Square	F _{hitung}	P-value
Regresi	5	1.45546	0.29109	2.732	0.0827
Residual (error)	10	1.06566	0.10657		
Total	16	2.52112			

Berdasarkan Tabel di atas dengan menggunakan α sebesar 0,1 didapatkan hasil terdapat pengaruh signifikan secara simultan antara variabel independen terhadap variabel dependen.

Tabel 6. Hasil Uji Parsial

Parameter	t hitung	p-value	Keputusan
<i>Intercept</i> (β_0)	3.268	0.00846	Tolak H_0
$x(\beta_1)$	2.655	0.02409	Tolak H_0
$x^2(\beta_2)$	2.633	0.02503	Tolak H_0
$(x + 6)^2 \rightarrow (\gamma_1)$	-2,537	0.02951	Tolak H_0
$(x + 4)^2 \rightarrow (\gamma_2)$	1.612	0.13813	Terima H_0
$(x + 3)^2 \rightarrow (\gamma_3)$	-0.2374	0.2282	Terima H_0

Berdasarkan Tabel di atas dengan menggunakan α sebesar 0,1, didapatkan hasil bahwa terdapat 4 parameter yang menunjukkan keputusan tolak H_0 , yang artinya bahwa terdapat 4 parameter tersebut memiliki pengaruh yang signifikan terhadap variabel dependen, 4 parameter tersebut yaitu $\beta_0, \beta_1, \beta_2$ dan γ_1 . Sedangkan 2 parameter sisanya menunjukkan keputusan terima H_0 , yang artinya bahwa terdapat 2 parameter tersebut tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap variabel dependen, yaitu parameter γ_2 dan γ_3 .

Koefisien Determinasi

Koefisien Determinasi (R^2) ini digunakan untuk menjelaskan seberapa besar atau seberapa baik model regresi spline dalam menjelaskan variasi variabel dependen berdasarkan variabel independen. Nilai koefisien determinasi yang didapatkan yaitu sebesar 0.5773 atau 57.73%, yang memiliki arti bahwa 57.73% variasi dalam pH dapat dijelaskan oleh variabel waktu, dan sisanya 42,27% tidak dijelaskan oleh variabel waktu dan mungkin bisa disebabkan oleh faktor lain yang tidak termasuk dalam model. Hal ini menunjukkan juga bahwa model regresi spline ini cukup kuat dalam menjelaskan perubahan pH.

Diagram Kendali Regresi Spline

Dengan menggunakan model regresi spline terbaik dari orde 2 dengan 3 titik knot maka didapatkan hasil perhitungan untuk nilai Batas Kendali Atas dan nilai Batas Kendali Bawah seperti berikut:

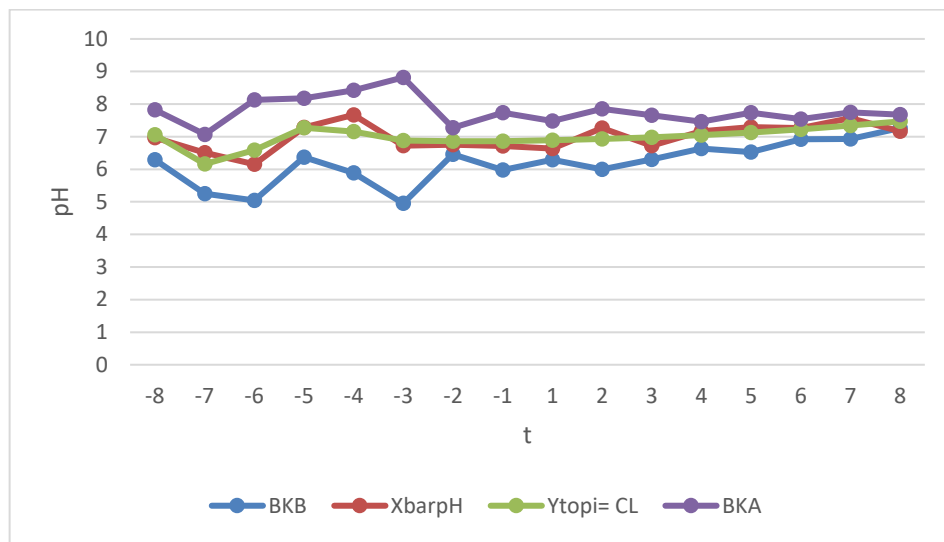
Tabel 7. Hasil Nilai BKA dan BKB

t	Range	GP ($\bar{R}$)	BKA	BKB
-8	0,75	0,77865	1,983222	0
-7	0,89	0,77865	1,983222	0
-6	1,51	0,77865	1,983222	0
-5	0,88	0,77865	1,983222	0
-4	1,24	0,77865	1,983222	0
-3	1,89	0,77865	1,983222	0
-2	0,4	0,77865	1,983222	0
-1	0,86	0,77865	1,983222	0
1	0,58	0,77865	1,983222	0
2	0,907	0,77865	1,983222	0
3	0,6614	0,77865	1,983222	0
4	0,4	0,77865	1,983222	0
5	0,59	0,77865	1,983222	0

Tabel 8. Lanjutan Hasil Nilai BKA dan BKB

t	Range	GP ($\bar{R}$)	BKA	BKB
6	0,3	0,77865	1,983222	0
7	0,4	0,77865	1,983222	0
8	0,2	0,77865	1,983222	0

Berdasarkan Tabel di atas didapatkan bahwa nilai rata-rata range sebesar 0,77865, nilai batas kendali atas sebesar 1,983222 dan nilai batas kendali bawah sebesar 0. Dengan menggunakan tabel 5 sehingga terbentuklah diagram kendali regresi spline sebagai berikut:

**Gambar 3.** Grafik Diagram Kendali Regresi Spline variabel pH

Dari gambar di atas dapat diketahui bahwa diagram kendali regresi spline antara variabel waktu dan derajat keasaman (pH) masih terdapat satu pengamatan yang berada di luar batas kendali yaitu data terakhir dengan nilai sebesar 7.1667 melewati BKB terakhir (berada dibawah nilai BKB) dengan nilai BKB sebesar 7.26387, sehingga dapat dikatakan bahwa pengamatan masih belum dalam keadaan terkendali, karena ada satu pengamatan yang tidak berada dalam batas kendali. Dari hasil tersebut diagram kendali regresi spline lebih sensitif dibandingkan dengan diagram kendali.

D. Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan dalam penelitian ini dapat disimpulkan bahwa data hasil uji kualitas pengolahan air limbah di perusahaan industri tekstil CV. Sandang Sari belum berada dalam keadaan terkendali, yang mana data yang tidak terkendali yaitu berada di pengamatan terakhir. Sehingga diagram kendali regresi spline lebih sensitif dalam mengendalikan proses dibandingkan dengan diagram kendali biasa.

Ucapan Terimakasih

Peneliti ingin mengucapkan terima kasih kepada Allah SWT karena dengan izin-Nya penelitian ini dapat diselesaikan, terima kasih kepada keluarga yang selalu memberikan dukungan, Ibu Teti Sofia Yanti, Dra., M.Si., yang telah memberikan masukan selama penelitian ini terlaksana, Bapak/Ibu dosen Statistika Unisba yang telah membagikan ilmu pengetahuannya, serta sahabat yang selalu senantiasa menemani peneliti hingga terselesaikannya penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Amalina, F. N., & Achmad, A. I. (2023). Perbandingan Fuzzy C-Means Clustering dan Fuzzy Possibilistic C-Means Clustering dalam Pengelompokan Kabupaten/Kota di Jawa Barat Berdasarkan Akses terhadap Sumber Air dan Sanitasi Layak Pada Tahun 2020. *DataMath: Journal of Statistics and Mathematics*, 1(1), 27–34. <https://doi.org/10.29313/datamath.v1i1.16>
- Devila Mustika Prancisca, & Darwis, S. (2021). Prediksi Sisa Umur Bearing Menggunakan Regresi Eksponensial. *Jurnal Riset Statistika*, 1(2), 107–116. <https://doi.org/10.29313/jrs.v1i2.434>
- Budiantara, I Nyoman. (2011). *Penelitian Bidang Regresi Spline Menuju Terwujudnya Penelitian Statistika Yang Mandiri Dan Berkarakter*. Jurnal disajikan pada Prosiding Seminar Nasional Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Pendidikan Ganesha, Bali.
- Firpha, R. M. P. (2022). *Regresi Nonparametrik Spline Truncated Untuk Pemodelan Persentase Penduduk Miskin di Jawa Barat Pada Tahun 2021*. Skripsi tidak dipublikasikan. Bandung: Jurusan Statistika, Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Islam Bandung.
- John, Bobby. Agarwal, Vaibhav. (2018). *A Regression Spline Control Chart for Monitoring Characteristics Exhibiting Nonlinear Profile Over Time*. Statistical Quality Control and OR Unit, Indian Statistical Institute, Bangalore, India. Djaslim S. *Intisari Pemasaran dan Unsur-unsur Pemasaran*. Bandung: Linda Karya; 2003.
- Grahanita, Tania. (2023) *Pengendalian Kualitas Limbah Cair Menggunakan Diagram Kendali Multivariate Exponentially Moving Average (MEWMA)*. Skripsi tidak dipublikasikan. Bandung: Jurusan Statistika, Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Islam Bandung.
- Putra, M.B. Srinadi, I.G.A.M. & Sumarjaya, I.W. (2015). Pemodelan regresi spline (studi kasus: herpindo jaya cabang ngaliyan). 4(3), 110-114.
- Rahayu, N. F. (2022). *Regresi Nonparametrik Spline Untuk Memodelkan Faktor-Faktor yang Memengaruhi Indeks Pembangunan Gender (IPG) Pada Tahun 2020*. Skripsi tidak dipublikasikan. Bandung: Jurusan Statistika, Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Islam Bandung.
- Ramdani, Randy. Samsunar, Sigit. Utami, Maisari. (2021). Analisis Suhu, Derajat Keasaman (pH), Chemical Oxygen Demand (COD), dan Biologycal Oxygen Demand (BOD) dalam Air Limbah Domestik di Dinas Lingkungan Hidup Sukoharjo. *Indonesia Journal of Chemical Research*. Vol. 6. No. 2, Hal 12-22.
- Ramadhania, Afina. 2022. Diagram Kendali Multivariat T2 Hotelling dengan Teknik Dekomposisi MYT pada Instalasi Pengolahan Air Limbah (Studi Kasus CV. Sandang Sari). Skripsi tidak dipublikasikan. Bandung: Jurusan Statitika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Islam Bandung.

Suyono. (2015). *Analisis Regresi untuk Penelitian*. Yogyakarta : Deepublish.

Tripena, Agustini. (2011). *Penentuan Model Regresi Spline Terbaik*. Jurnal disajikan pada Prosiding Seminar Nasional Statistika, Jurusan Matematika, Fakultas Sains dan Teknik. Universitas Jenderal Soedirman, Purwokerto.

Noor, F. R., & Sirodj, D. A. N. (2024). Penerapan Support Vector Machine untuk Klasifikasi Opini Masyarakat Terhadap Isu Bullying. *Jurnal Riset Statistika*, 57–66. <https://doi.org/10.29313/jrs.v4i1.3877>