

Analisis Regression Splines untuk Memodelkan Hubungan Angka Harapan Hidup dengan Akses Air Minum Layak di Indonesia

Harifa Hananti^{1*}, Rosi Ramayanti², Muflihatuz Zakiyah³, Azly Adillah⁴

¹⁾²⁾³⁾⁴⁾ UIN Sjech M. Djamil Djambek Bukittinggi, Indonesia

¹⁾harifahnananti@uinbukittinggi.ac.id, ²⁾rosiramayanti@uinbukittinggi.ac.id,

³⁾muflihatuzzakiyah@uinbukittinggi.ac.id, ⁴⁾azlyadillah@gmail.com



*Harifa Hananti

Histori Artikel:

Submit: 2026-06-30

Diterima: 2026-07-03

Dipublikasikan: 2026-07-09

Kata Kunci:

Angka Harapan Hidup; Akses Air Minum Layak; Analisis Statistik; Regresi Nonparametrik; Regresi Spline

ABSTRAK

Angka Harapan Hidup (AHH) merupakan salah satu indikator utama dalam menilai kualitas hidup dan pembangunan manusia suatu wilayah. Salah satu faktor yang diduga berkontribusi terhadap AHH adalah akses rumah tangga terhadap air minum layak, karena berkaitan erat dengan pencegahan penyakit, status gizi, dan kualitas kesehatan masyarakat secara keseluruhan. Hubungan antara kedua variabel tersebut diduga bersifat non-linear, sehingga pendekatan regresi parametrik dinilai kurang memadai untuk menangkap pola hubungan yang sebenarnya. Penelitian ini bertujuan menganalisis hubungan antara persentase akses air minum layak dan AHH di 34 provinsi Indonesia pada tahun 2024 menggunakan pendekatan regresi nonparametrik, khususnya regresi spline. Data sekunder diperoleh dari Badan Pusat Statistik, dengan AHH sebagai variabel dependen dan persentase akses air minum layak sebagai variabel independen. Analisis dilakukan menggunakan *software R* melalui tahapan statistik deskriptif, visualisasi data, estimasi model regresi linear sederhana sebagai pembandingan, serta pemodelan regresi spline dengan pemilihan titik knot optimum berdasarkan nilai Generalized Cross Validation terkecil. Hasil penelitian menunjukkan model regresi spline dengan sembilan knot untuk AHH perempuan dan lima knot untuk AHH laki-laki menghasilkan nilai R^2 sebesar 0,3675, lebih tinggi dibandingkan model OLS sebesar 0,3447. Hubungan antara kedua variabel bersifat positif namun nonlinear, dengan peningkatan AHH yang cenderung melambat pada tingkat akses air minum layak yang lebih tinggi. Temuan ini menegaskan pentingnya prioritas kebijakan peningkatan akses air minum layak pada wilayah dengan akses rendah guna memberikan dampak kesehatan yang lebih signifikan bagi masyarakat.

Jurnal Pendidikan Sains dan Komputer is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0).

LATAR BELAKANG

Angka Harapan Hidup (AHH) merupakan salah satu indikator utama dalam mengukur kualitas hidup dan kesejahteraan masyarakat. Tingginya AHH menunjukkan kesehatan masyarakat yang baik, kualitas lingkungan hidup yang memadai, dan akses terhadap layanan dasar, termasuk pendidikan, kesehatan, dan air bersih. Di Indonesia, peningkatan AHH menjadi fokus penting dalam pembangunan manusia, namun disparitas antarwilayah masih terlihat jelas. Salah satu faktor yang diduga memengaruhi AHH adalah persentase akses rumah tangga terhadap air minum layak, karena ketersediaan air bersih berkaitan langsung dengan kesehatan masyarakat, pencegahan penyakit, dan kualitas hidup (World Health Organization & UNICEF, 2021).

Berdasarkan teori pembangunan manusia, peningkatan akses air minum layak diharapkan dapat menurunkan risiko penyakit menular, meningkatkan gizi, dan mendukung kualitas hidup secara keseluruhan, sehingga

berkontribusi terhadap peningkatan AHH (BPS, 2024). Namun, hubungan antara akses air minum dan AHH tidak selalu bersifat linear. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa peningkatan akses air minum yang signifikan pada wilayah dengan persentase rendah memberikan efek lebih besar terhadap peningkatan AHH dibandingkan wilayah yang sudah memiliki akses tinggi, sehingga efek marginal cenderung menurun (Kurniawan, n.d.).

Data dari Badan Pusat Statistik (BPS) Indonesia untuk tahun 2024 menunjukkan bahwa persentase akses rumah tangga terhadap air minum layak berkisar antara 50% hingga 98%, sedangkan AHH berkisar antara 65 hingga 76 tahun (Badan Pusat Statistik, 2024). Visualisasi awal data menunjukkan bahwa meskipun akses air minum layak meningkat, AHH tidak selalu meningkat secara linear. Beberapa wilayah dengan akses air minum tinggi masih memiliki AHH yang relatif rendah, menunjukkan bahwa hubungan antara kedua variabel kemungkinan bersifat non-linear.

Dalam analisis statistik, metode regresi parametrik sering digunakan untuk memodelkan hubungan antarvariabel. Namun, metode ini memiliki keterbatasan karena mengasumsikan linearitas dan distribusi error tertentu. Sebagai alternatif, regresi nonparametrik menawarkan fleksibilitas lebih tinggi karena tidak mengharuskan bentuk fungsi tertentu dan mampu menangkap pola non-linear yang kompleks (Silverman, 1992). Salah satu metode nonparametrik yang efektif adalah regresi spline, yang mampu memperkirakan hubungan antarvariabel secara lebih fleksibel dan mendeteksi efek lokal yang mungkin tidak terlihat dalam pendekatan parametrik.

Berdasarkan salah satu penelitian terdahulu, AHH hanya dimodelkan dengan menggunakan *geographically weighted regression* (GWR). Dalam penelitian tersebut harus memenuhi asumsi linieritas dan distribusi error tertentu (Madeira, 2024). Sehingga dibutuhkan sebuah metode untuk menganalisis AHH tanpa melihat asumsi linieritas dan pemenuhan asumsi tertentu, untuk itu digunakan salah satu metode dalam analisis regresi nonparametrik. Selanjutnya, adapun metode regresi nonparametrik yang dapat digunakan adalah regresi spline.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan antara angka air minum layak terhadap AHH di Indonesia tahun 2024. Penelitian ini dianggap sesuai karena dapat menangkap karakteristik hubungan yang kompleks, tidak linear, dan memberikan estimasi efek marginal secara lebih realistis. Penelitian ini juga bertujuan dapat memberikan pemahaman lebih mendalam mengenai pengaruh akses air minum layak terhadap AHH dan menjadi dasar bagi pembuat kebijakan dalam merumuskan strategi peningkatan kualitas hidup masyarakat melalui penyediaan air minum layak.

STUDI LITERATUR

1. Regresi Kuadrat Terkecil (OLS)

Regresi Kuadrat Terkecil (OLS) merupakan pendekatan awal yang digunakan untuk memodelkan hubungan antara variabel X dan Y dengan asumsi linearitas (Draper, 1992). Persamaan regresi linear sederhana didefinisikan sebagai:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \varepsilon_i \quad (1)$$

dimana:

Y_i : AHH di provinsi ke-i

X_i : persentase akses air minum layak

β_0 : intersep

β_1 : koefisien regresi

ε_i : error

Estimasi parameter menggunakan metode kuadrat terkecil (OLS) dengan fungsi tujuan:

$$SSE = \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2 \quad (2)$$

Evaluasi model OLS dilakukan dengan koefisien determinasi (R^2):

$$R^2 = 1 - \sum_{i=1}^n \frac{(Y_i - \hat{Y}_i)^2}{(Y_i - \bar{Y})^2} \quad (3)$$

Model dikatakan baik jika R^2 mendekati 1, menunjukkan bahwa model mampu menjelaskan sebagian besar variabilitas Y . Estimasi parameter dilakukan menggunakan metode kuadrat terkecil (OLS), yaitu dengan meminimalkan jumlah kuadrat galat (SSE). Model dievaluasi menggunakan koefisien determinasi (R^2), yang menunjukkan proporsi variabilitas Y yang dapat dijelaskan oleh X . Semakin mendekati 1 nilai R^2 , semakin baik model linear dalam menjelaskan data.

2. Regresi Spline

Regresi spline merupakan pendekatan nonparametrik yang memodelkan hubungan antara X dan Y secara fleksibel dengan membagi domain X ke dalam beberapa segmen dan membangun fungsi polinomial pada masing-masing segmen (Wahba, 1990). Sambungan antar segmen ditentukan oleh titik yang disebut knot.

Spline adalah gabungan polinomial terpotong (*piecewise polynomial*). Jika digunakan spline kubik, maka fungsi pada tiap interval mengikuti polinomial derajat tiga, namun tetap halus dan kontinu pada titik knot (Eubank, 1999). Secara umum bentuk fungsi spline adalah:

$$m(x) = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 x^2 + \beta_3 x^3 + \sum_{j=1}^k \theta_j (x - k_j)^3 \quad (4)$$

dengan

$$(x - k_k)_+^p = \begin{cases} (x - k_k)^p, & x > k_k \\ 0, & x \leq k_k \end{cases}$$

dimana:

K : jumlah knot

κ_j : lokasi knot

$(x - \kappa_j)_+ = (x - \kappa_j)$ jika $x > \kappa_j$, dan 0 jika sebaliknya

Spline bekerja dengan cara membentuk polinomial per bagian, namun tetap menjaga kelicinan pada titik-titik knot. Metode ini disebut efektif untuk data dengan hubungan non-linear (Fan, 1996).

3. Pemilihan model optimal (λ)

Pemilihan nilai λ yang optimal sangat penting dalam smoothing spline (Eubank, 1998). Nilai λ dipilih menggunakan metode Generalized Cross Validation (GCV), yang bertujuan meminimalkan kesalahan prediksi secara objektif. Fungsi GCV secara umum dapat dituliskan sebagai:

$$GCV(\lambda) = \left(\frac{1}{N} \right) \sum_{i=1}^n \frac{(Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\left[1 - \frac{df(\lambda)}{n} \right]^2}$$

dengan:

Y_i : nilai prediksi smoothing spline

$df(\lambda)$: derajat kebebasan efektif model

n : jumlah pengamatan

METODE

1. Data Penelitian

Penelitian ini menggunakan data sekunder dari Badan Pusat Statistik (BPS) Indonesia tahun 2024. Objek dalam penelitian ini berupa 34 provinsi di Indonesia. Data yang digunakan mencakup Angka Harapan Hidup (AHH) per provinsi, yang mencerminkan rata-rata jumlah tahun yang diharapkan dapat dicapai oleh penduduk sejak lahir, dan Persentase Akses Rumah Tangga terhadap Air Minum Layak (AIR) per provinsi, yang menunjukkan proporsi rumah tangga yang memiliki akses ke air minum yang memenuhi standar kesehatan. Unit analisis penelitian adalah provinsi di Indonesia, dengan variabel dependen berupa Angka Harapan Hidup (Y) dan variabel independen berupa Persentase Akses Air Minum Layak (X). Data yang digunakan meliputi:

Tabel 1. Variabel Penelitian

Nama Variabel	Skala	Deskriptif
Angka Harapan Hidup (Y)	Numerik	Rata-rata jumlah tahun hidup penduduk
Persentase Akses Air Minum Layak (X)	Numerik	Persentase rumah tangga dengan akses air minum layak (%)

2. Teknik Analisis Data

Pendekatan analisis yang digunakan mencakup dua metode utama, yaitu regresi linear sederhana (OLS) sebagai model baseline dan regresi nonparametrik kernel polinomial lokal untuk menangkap hubungan non-linear. Analisis dilakukan menggunakan *software R*, dengan paket KernSmooth dan np untuk regresi nonparametrik, serta ggplot2 untuk visualisasi. Analisis dimulai dengan eksplorasi data, termasuk perhitungan statistik deskriptif seperti mean, median, minimum, maksimum, dan standar deviasi. Scatter plot digunakan untuk melihat pola hubungan antara variabel X dan Y , sehingga dapat diketahui indikasi linearitas atau non-linearitas hubungan.

Langkah pertama dalam analisis adalah visualisasi data, yang dilakukan untuk memahami distribusi data dan pola hubungan antara variabel X dan Y . Scatter plot digunakan untuk melihat indikasi linearitas maupun non-linearitas hubungan antara persentase akses air minum layak (X) dan angka harapan hidup (Y). Visualisasi ini menjadi dasar dalam menentukan model analisis yang sesuai, apakah model linear sederhana atau nonparametrik lebih tepat digunakan.

Langkah selanjutnya adalah memperoleh estimasi model OLS, melakukan estimasi regresi spline antara variabel AHH dan air minum layak dengan jumlah knot yang telah ditetapkan, menentukan titik knot yang optimal berdasarkan nilai minimum dari GCV, melakukan visualisasi dari estimasi model regresi spline yang telah diperoleh, pemilihan model terbaik berdasarkan nilai koefisien determinasi (R^2), kemudian melakukan visualisasi kurva OLS dan kurva regresi spline.

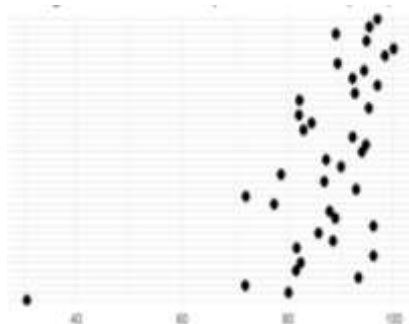
HASIL

1. Deskripsi dan Visualisasi Data

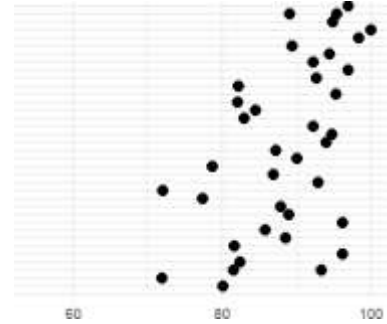
Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS) tahun 2024, Angka Harapan Hidup (AHH) antar provinsi di Indonesia menunjukkan variasi yang cukup signifikan. Provinsi dengan tingkat kesejahteraan dan infrastruktur kesehatan yang lebih baik cenderung memiliki AHH yang lebih tinggi dibandingkan provinsi dengan keterbatasan

akses terhadap layanan dasar. Sementara itu, persentase akses rumah tangga terhadap air minum layak juga menunjukkan perbedaan yang cukup lebar antar wilayah, mencerminkan ketimpangan pembangunan infrastruktur dasar di Indonesia.

(a)



(b)



Gambar 1. Plot Visualisasi Awal Hubungan Antara Akses Air Minum Layak dan AHH Perempuan (a) dan laki-laki (b) (2024)

Visualisasi scatter plot antara persentase akses air minum layak dan angka harapan hidup memperlihatkan kecenderungan hubungan positif, dimana peningkatan akses air minum layak diikuti oleh peningkatan angka harapan hidup. Namun demikian, pola sebaran data tidak sepenuhnya membentuk hubungan linear. Pada beberapa tingkat akses air minum layak, peningkatan AHH cenderung melambat, sementara pada tingkat akses yang lebih rendah terlihat perubahan AHH yang relatif lebih tajam. Pola ini mengindikasikan adanya hubungan non-linear antara kedua variabel, sehingga pendekatan regresi nonparametrik dinilai lebih sesuai dibandingkan regresi linear sederhana.

2. Hasil Estimasi Model Regresi Linier Sederhana (OLS)

Model regresi linear sederhana digunakan sebagai model awal untuk menggambarkan hubungan antara persentase akses air minum layak dan angka harapan hidup. Berikut hasil model regresi yang telah diperoleh:

$$\hat{y} = 61,004 + 0,133$$

Hasil estimasi menunjukkan bahwa variabel akses air minum layak memiliki koefisien positif terhadap angka harapan hidup, yang berarti peningkatan akses air minum layak cenderung diikuti oleh peningkatan AHH. Temuan ini sejalan dengan teori kesehatan masyarakat yang menyatakan bahwa akses terhadap air bersih berperan penting dalam menurunkan risiko penyakit menular dan meningkatkan kualitas hidup.

Namun demikian, nilai koefisien determinasi R^2 adalah sebesar 0,3447 dari model OLS menunjukkan bahwa kemampuan model linear dalam menjelaskan variasi angka harapan hidup masih terbatas. Hal ini mengindikasikan bahwa meskipun hubungan antara kedua variabel bersifat positif, asumsi linearitas belum sepenuhnya mampu menangkap pola hubungan yang sebenarnya. Keterbatasan model linear ini memperkuat alasan penggunaan model regresi nonparametrik regression spline sebagai pendekatan yang lebih fleksibel.

3. Hasil Estimasi Model Regresi Spline

Adapun hasil pemilihan titik knot yang optimum dengan GCV terkecil akses air minum layak dan AHH sebagai berikut:

Tabel.2. Jumlah Knot dan Nilai GCV Optimal

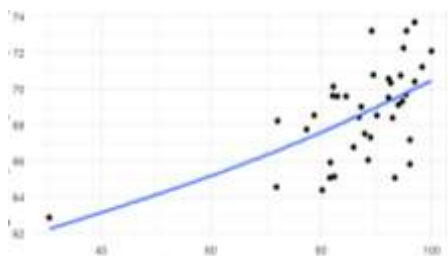
Jumlah Knot	GCV
-------------	-----

X1	X2	
9	5	1.854128

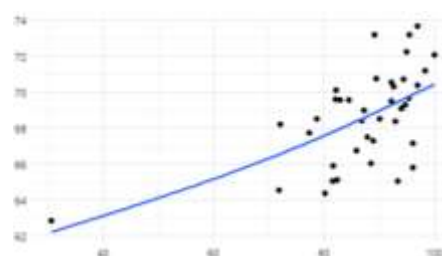
Dari Tabel.2 dapat disimpulkan bahwa dengan menggunakan kombinasi jumlah knot sebanyak sembilan untuk variabel AHH perempuan (X1) dan lima knot untuk variabel AHH laki-laki (X2) menghasilkan nilai GCV yang paling minimum yaitu sebesar 1,854128. Setelah memperoleh kedua jumlah kombinasi titik knot yang optimum untuk AHH dan air minum layak, masing-masing sembilan dan lima titik knot. Titik-titik knot tersebut digunakan untuk mendapatkan estimasi model kurva regresi spline untuk variabel prediktor dengan variabel responnya.

Berikut hasil kurva estimasi regresi spline

(a)



(b)



Gambar 2. Hasil Estimasi Model Regresi Spline Air Minum Layak dan AHH Perempuan (a) dan AHH laki-laki (b)

Berdasarkan hasil estimasi yang telah dilakukan dengan menggunakan bantuan *software R* Hasil pemodelan menggunakan regresi spline menunjukkan bahwa hubungan antara persentase akses air minum layak dan angka harapan hidup baik pada perempuan maupun laki-laki bersifat non-linear. Kurva spline yang dihasilkan memperlihatkan bahwa pada tingkat akses air minum layak yang rendah hingga menengah, peningkatan akses memberikan dampak yang relatif besar terhadap peningkatan angka harapan hidup. Hal ini mengindikasikan bahwa perbaikan akses air minum layak pada wilayah dengan kondisi awal yang masih rendah dapat memberikan manfaat kesehatan yang signifikan.

Pada tingkat akses air minum layak yang lebih tinggi, peningkatan AHH cenderung melambat. Kondisi ini menunjukkan adanya efek diminishing return, dimana setelah kebutuhan dasar air minum layak terpenuhi, peningkatan akses tidak lagi memberikan tambahan dampak yang besar terhadap angka harapan hidup. Pola ini tidak dapat ditangkap secara baik oleh model regresi linear, namun dapat direpresentasikan dengan lebih akurat melalui regresi spline.

4. Pemilihan Model Terbaik

Pemilihan model terbaik dilakukan dengan membandingkan kinerja model regresi linear sederhana dan regresi spline. Berikut hasil (R^2) dari estimasi model OLS dan regresi spline:

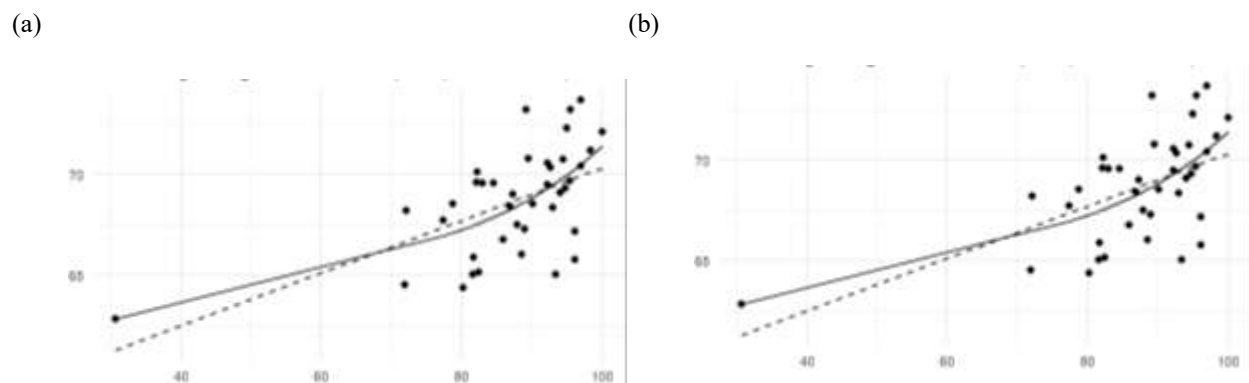
Tabel.3. Hasil R^2 dari model OLS dan Regresi Spline

Estimasi Model	R^2
OLS	0,3447

Berdasarkan hasil analisis, model regresi spline menghasilkan nilai koefisien determinasi (R^2) yang lebih tinggi dibandingkan model OLS, yang menunjukkan bahwa model spline mampu menjelaskan variasi angka harapan hidup dengan lebih baik. Sehingga, mengindikasikan bahwa model tersebut memiliki keseimbangan yang baik antara kompleksitas dan kemampuan prediksi.

5. Visualisasi kurva OLS dan kurva regresi spline

Berikut adalah hasil visualisasi kurva OLS dan kurva regresi spline:



Gambar 3. Kurva OLS dan Regresi Spline dari Air Minum Layak dan AHH Perempuan (a) dan AHH Laki-laki (b).

Dari sisi visualisasi, kurva regresi spline terlihat lebih sesuai dengan pola sebaran data dibandingkan garis regresi linear. Kurva spline mampu mengikuti perubahan pola hubungan antar variabel secara lebih halus dan realistis, terutama pada daerah dengan tingkat akses air minum layak yang rendah dan tinggi. Berdasarkan pertimbangan statistik dan visual tersebut, model regresi spline dipilih sebagai model terbaik dalam penelitian ini.

PEMBAHASAN

Hasil penelitian ini menegaskan bahwa akses rumah tangga terhadap air minum layak merupakan faktor penting yang berkaitan dengan angka harapan hidup di Indonesia. Hal tersebut berkaitan dengan salah satu penelitian terdahulu yang memperhatikan asumsi linieritas. Sehingga, pada penelitian ini hubungan yang bersifat non-linear menunjukkan bahwa dampak peningkatan akses air minum layak tidak bersifat konstan pada seluruh tingkat akses. Selain itu, ada beberapa faktor lainnya yang dapat mempengaruhi AHH yaitu pendapatan perkapita dan rata-rata lama sekolah. Namun dalam penelitian ini hanya melihat air minum layak terhadap AHH. Pada wilayah dengan akses rendah, peningkatan kecil dalam akses air minum layak dapat memberikan dampak yang cukup besar terhadap peningkatan AHH, sementara pada wilayah dengan akses yang sudah tinggi, dampaknya relatif lebih kecil.

Temuan ini memiliki implikasi kebijakan yang penting. Upaya peningkatan akses air minum layak sebaiknya diprioritaskan pada wilayah-wilayah dengan tingkat akses yang masih rendah, karena intervensi pada wilayah tersebut berpotensi memberikan dampak kesehatan yang lebih besar. Selain itu, hasil ini menunjukkan bahwa penggunaan metode regresi nonparametrik, khususnya regression spline, lebih efektif dalam menggambarkan hubungan kompleks antara indikator kesehatan dan infrastruktur dasar dibandingkan

regresi linear konvensional.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa terdapat hubungan antara persentase akses rumah tangga terhadap air minum layak dan angka harapan hidup di Indonesia tahun 2024, baik pada kelompok laki-laki maupun perempuan. Hasil visualisasi awal menunjukkan bahwa hubungan antarvariabel tidak sepenuhnya bersifat linear, sehingga pendekatan regresi linear sederhana kurang mampu menggambarkan pola hubungan secara menyeluruh.

Pemodelan menggunakan regresi nonparametrik, khususnya regresi spline, terbukti lebih efektif dalam menangkap pola hubungan non-linear antara akses air minum layak dan angka harapan hidup. Kurva spline menunjukkan bahwa pada tingkat akses air minum layak yang rendah hingga menengah, peningkatan akses memberikan dampak yang relatif besar terhadap peningkatan angka harapan hidup. Sebaliknya, pada tingkat akses yang lebih tinggi, peningkatan angka harapan hidup cenderung melambat, yang mengindikasikan adanya efek penurunan manfaat marginal (*diminishing returns*).

Hasil evaluasi model menunjukkan bahwa regresi spline memiliki nilai koefisien determinasi yang lebih tinggi dibandingkan regresi linear sederhana, serta didukung oleh nilai Generalized Cross Validation (GCV) yang relatif kecil. Selain itu, secara visual, kurva regresi spline lebih mampu mengikuti pola sebaran data dibandingkan garis regresi linear. Oleh karena itu, regresi spline dipilih sebagai model terbaik dalam menganalisis hubungan antara akses air minum layak dan angka harapan hidup di Indonesia.

Penelitian ini hanya melihat satu faktor tanpa melihat faktor lainnya, sehingga bagi peneliti selanjutnya dapat menambahkan faktor lainnya. Disamping itu peneliti selanjutnya dapat menggabungkan metode GWR dengan metode spline. Sehingga, dapat melihat pengaruh wilayah dengan data yang tidak memperhatikan asumsi linieritas atau asumsi lainnya.

REFERENSI

- Badan Pusat Statistik. (2024). Angka Harapan Hidup Menurut Provinsi dan Jenis Kelamin Tahun 2024. Jakarta: BPS.
- Badan Pusat Statistik. (2024). Persentase Rumah Tangga dengan Akses terhadap Air Minum Layak Menurut Provinsi. Jakarta: BPS.
- Draper, N. R., & Smith, H. (1992). *Analisis Regresi Terapan* (Edisi ke-2). Jakarta: Gramedia Pustaka Utama
- Eubank, R. L. (1999). *Nonparametric Regression and Spline Smoothing* (2nd ed.). New York: Marcel Dekker
- Eubank. (1998). Penentuan Generalized Cross Validation (GCV) Sebagai Kriteria dalam Pemilihan Model Regresi B-Spline Terbaik. *Jurnal Statistika*, Vol. 2, No. 2, 121-126.
- Fan, J., & Gijbels, I. (1996). *Local Polynomial Modelling and Its Applications*. London: Chapman & Hall.
- Hastie, T., Tibshirani, R., & Friedman, J. (2009). *The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction*. New York: Springer.
- Kurniawan, R., Budyanra, & Wibowo, A. (2023). *Statistika Nonparametrik Terapan*. Jakarta: Rajawali Pers.
- Madeira, I. D. J., Syukur, P. S., Istiawati, R. M., & Anuraga, G. (2024). *Pemodelan angka harapan hidup di Indonesia menggunakan Geographically Weighted Regression (GWR)*. Dalam *Prosiding Seminar Nasional Hasil Riset dan Pengabdian* (hlm. 444–450).

- Silverman, B. W. (1992). *Density Estimation for Statistics and Data Analysis*. London: Chapman & Hall.
- World Health Organization & UNICEF. (2021). *Progress on Household Drinking Water, Sanitation and Hygiene*. Geneva: WHO Press.
- Wahba, G. (1990). *Spline Models for Observational Data*. Philadelphia: SIAM.