

**ESTIMASI MODEL REGRESI *SPLINE* BIRESPON
DENGAN FUNGSI *PENALTY* (APLIKASI PADA DATA
INDEKS HARGA SAHAM GABUNGAN DAN
JAKARTA ISLAMIC INDEX)**

SKRIPSI



NUR ANUGRAH YUSUF

H051181004

**PROGRAM STUDI STATISTIKA DEPARTEMEN STATISTIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2022

**ESTIMASI MODEL REGRESI *SPLINE* BIRESPON
DENGAN FUNGSI *PENALTY* (APLIKASI PADA DATA
INDEKS HARGA SAHAM GABUNGAN DAN
JAKARTA ISLAMIC INDEX)**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Sains pada
Program Studi Statistika Departemen Statistika Fakultas Matematika dan
Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin**

NUR ANUGRAH YUSUF

H051181004

**PROGRAM STUDI STATISTIKA DEPARTEMEN STATISTIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
NOVEMBER 2022**

LEMBAR PERNYATAAN KEOTENTIKAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan dengan sungguh-sungguh bahwa skripsi yang saya buat dengan judul:

Estimasi Model Regresi *Spline* Birespon dengan Fungsi *Penalty* (Aplikasi pada Data Indeks Harga Saham Gabungan dan *Jakarta Islamic Index*)

adalah benar hasil karya saya sendiri, bukan hasil plagiat dan belum pernah dipublikasikan dalam bentuk apapun

Makassar, 9 Desember 2022



Nur Anugrah Yusuf

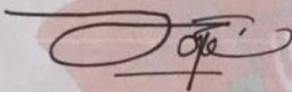
NIM H051181004

**ESTIMASI MODEL REGRESI *SPLINE* BIRESPON DENGAN
FUNGSI *PENALTY* (APLIKASI PADA DATA INDEKS HARGA
SAHAM GABUNGAN DAN *JAKARTA ISLAMIC INDEX*)**

Disetujui Oleh:

Pembimbing Utama

Pembimbing Pertama



Dr. Anna Islamiyati, S.Si., M.Si.

NIP. 19770808 200501 2 002



Dr. Dr. Georgina Maria Tinungki, M.Si.

NIP. 19620926 198702 2 001

Ketua Program Studi



Dr. Nurfitri Sunusi, S.Si., M.Si.

NIP. 19720117 199703 2 002

Pada 9 Desember 2022

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Nur Anugrah Yusuf
NIM : H051181004
Program Studi : Statistika
Judul Skripsi : Estimasi Model Regresi *Spline* Birespon dengan Fungsi *Penalty* (Aplikasi pada Data Indeks Harga Saham Gabungan dan *Jakarta Islamic Index*)

Telah berhasil dipertahankan dihadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Program Studi Statistika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin.

DEWAN PENGUJI

1. Ketua : Dr. Anna Islamiyati, S.Si., M.Si. (.....)
2. Sekretaris : Dr. Dr. Georgina Maria Tinungki, M.Si. (.....)
3. Anggota : Andi Kresna Jaya, S.Si., M.Si. (.....)
4. Anggota : Siswanto, S.Si., M.Si. (.....)

Ditetapkan di : Makassar

Tanggal : 9 Desember 2022

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Segala puji hanya milik Allah *Subhanallahu Wa Ta'ala* atas segala limpahan rahmat dan hidayah-Nya yang telah diberikan kepada penulis sampai saat ini. Shalawat dan salam senantiasa tercurahkan kepada baginda Rasulullah *Shallallahu 'Alaihi Wa sallam*, kepada para keluarga, tabi'in, tabi'ut tabi'in, serta orang-orang sholeh yang haq hingga kadar Allah berlaku atas diri-diri mereka. *Alhamdulillahil'alamiin*, berkat rahmat dan kemudahan yang diberikan oleh Allah *Subhanallahu Wa Ta'ala*, penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "*Estimasi Model Regresi Spline Birespon dengan Fungsi Penalty (Aplikasi pada Data Indeks Harga Saham Gabungan dan Jakarta Islamic Index)*" sebagai salah satu syarat memperoleh gelar sarjana pada Program Studi Statistika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin.

Penulis tidak akan sampai pada titik ini, jikalau tanpa dukungan dan bantuan dari pihak yang selalu ada, peduli dan menyayangi penulis. Oleh karena itu, penulis haturkan rasa terima kasih yang setulus-tulusnya serta penghargaan yang setinggi-tingginya untuk orang tua penulis, Ayahanda **Drs. Muh. Yusuf** dan Ibunda tersayang, **Bondeng, S.Pd.** yang telah memberikan dukungan penuh, pengorbanan, kesabaran hati, cinta dan kasih sayang, serta dengan ikhlas telah mengiri setiap langkah penulis dengan doa dan restunya. Kakakku **Muh. Satriah Yusuf, S.H., St. Nur Irawaty, S.E.**, terima kasih telah menjadi kakak dan adik yang sangat baik, selalu ada dan selalu memberikan dorongan dukungan baik batin dan juga raga untuk penulis serta untuk keluarga besarnya, terima kasih atas doa dan dukungannya selama ini.

Penghargaan yang tulus dan ucapan terima kasih dengan penuh keikhlasan juga penulis ucapkan kepada:

1. **Bapak Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc.**, selaku Rektor Universitas Hasanuddin beserta seluruh jajarannya.
2. **Bapak Dr. Eng. Amiruddin**, selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin beserta seluruh jajarannya.

3. **Ibu Dr. Nurtiti Sunusi S.Si., M.Si.**, selaku Ketua Departemen Statistika, segenap Dosen Pengajar dan Staf yang telah membekali ilmu dan kemudahan kepada penulis dalam berbagai hal selama menjadi mahasiswa di Departemen Statistika.
4. **Ibu Dr. Anna Islamiyati, S.Si., M.Si.**, selaku Pembimbing Utama dan **Ibu Dr. Dr. Georgina Maria Tinungki, M.Si.**, selaku Pembimbing Pendamping yang dengan penuh kesabaran telah meluangkan waktu dan pemikirannya di tengah berbagai kesibukan dan prioritasnya untuk senantiasa memberikan bantuan arahan, dorongan, dan motivasi kepada penulis mulai dari awal hingga selesainya penulisan tugas akhir ini.
5. **Bapak Andi Kresna Jaya, S.Si., M.Si.**, dan **Bapak Siswanto, S.Si., M.Si.**, selaku Tim Penguji yang telah memberikan kritikan yang membangun dalam penyempurnaan penyusunan tugas akhir ini serta waktu yang telah diberikan kepada penulis.
6. **Ibu Dr. Nurtiti Sunusi, S.Si., M.Si.**, selaku Penasehat Akademik penulis. Terima kasih atas segala bantuan, nasehat serta motivasi yang selalu diberikan kepada Penulis selama menjalani pendidikan di Departemen Statistika.
7. Bapak dan ibu dosen Fakultas MIPA yang telah mengajarkan ilmu pengetahuan sehingga dapat dijadikan dasar dalam penulisan skripsi ini.
8. Keluargaku yang sangat saya sayangi, terima kasih telah memberikan banyak doa, dukungan, dan motivasi hingga penulis dapat menyelesaikan studi.
9. Sahabat tercinta penulis, **Hajratul Ashwad K.** yang telah menjadi sahabat terbaik dan senantiasa memberikan dorongan, semangat dan motivasi dalam setiap keadaan. Terima kasih atas kebersamaan, kebahagiaan, kesediaan dan kebaikannya sejak mahasiswa baru dan telah membantu penulis dalam berbagai hal.
10. Sahabat seperjuangan **Fitra Damayanti, Nurul Nur Kholifah, Naura Alfatiyya Arda**, dan **Muh.Ishak**. Terima kasih atas kebersamaan, kebahagiaan, kesediaan dan kebaikannya. Masa perkuliahan yang berkesan.
11. Teman seperjuangan di **Statistika 2018**, terkhusus **Victor Liman, Sri Andriani Amil, Andi Sri Yulianti, Nur Hidayah L, Musdalifah, Isra Riska Utami, Nurul Rezki, Taufiq Akbar, Nehemia Milenium**

Payung, Adhiyaksa Prananda RS, Musafir dan semua teman Statistika 2018 yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu, terima kasih telah memberikan motivasi dan berbagi suka dan duka selama perkuliahan yang merupakan sosok guru bagi penulis di masa perkuliahan, terima kasih atas ilmu, kebersamaan, suka dan duka dalam menjalani pendidikan di Departemen Statistika.

12. Sahabat terbaik sejak di bangku SMP dan SMA, **Fida, Anty, Ajeng, Ola, Alwi, Jum, dan Tya**, yang jarang bertemu tetapi selalu memberi semangat, dorongan dan motivasi kepada penulis.
13. Kepada semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu, semoga segala dukungan dan partisipasi yang diberikan kepada penulis bernilai ibadah disisi Allah *Subhanallahu Wa Ta'ala*.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam skripsi ini, untuk itu dengan segala kerendahan hati penulis memohon maaf. Akhir kata, semoga tulisan ini memberikan manfaat untuk pembaca.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Makassar, 9 Desember 2022



Nur Anugrah Yusuf

**PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK
KEPENTINGAN AKADEMIK**

Sebagai civitas akademik Universitas Hasanuddin, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nur Anugrah Yusuf
NIM : H051181004
Program Studi : Statistika
Departemen : Statistika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Hasanuddin **Hak Bebas Royalti Non-eksklusif (*Non-exclusive Royalty- Free Right*)** atas tugas akhir saya yang berjudul:

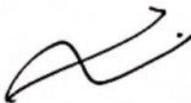
“Estimasi Model Regresi *Spline* Birespon dengan Fungsi *Penalty* (Aplikasi pada Data Indeks Harga Saham Gabungan dan *Jakarta Islamic Index*)”

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Terkait dengan hal di atas, maka pihak universitas berhak menyimpan, mengalih-media/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di Makassar pada tanggal, 9 Desember 2022

Yang menyatakan



(Nur Anugrah Yusuf)

ABSTRAK

Regresi nonparametrik *spline* birespon adalah metode regresi yang digunakan untuk pola data yang bentuk kurva regresinya tidak mengikuti pola parametrik dengan estimator *spline* untuk kasus yang datanya memuat dua respon dan kedua respon tersebut saling berkorelasi. Fungsi *penalty* berfungsi untuk mendapatkan hasil estimasi kurva yang *smooth* atau halus, sehingga dalam penelitian ini akan diteliti mengenai model regresi *spline* birespon yang mempertimbangkan fungsi *penalty* dalam kriteria estimasinya. Data pada penelitian ini adalah data IHSG dan JII untuk variabel respon dan data inflasi serta IDJ untuk variabel prediktor. Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh bentuk estimasi model regresi *spline* birespon dengan fungsi *penalty* dan model data IHSG dan JII menggunakan regresi *spline* birespon dengan fungsi *penalty*. Model *spline* birespon pada variabel respon IHSG optimal pada lamda 0.01, orde 1 dan 2 titik knot dengan nilai GCV untuk prediktor inflasi sebesar 4314.374 untuk $\tau_{11} = 1.8$ dan $\tau_{12} = 2.1$. Nilai GCV untuk prediktor IDJ sebesar 4730.954 untuk $\tau_{11} = 26500$ dan $\tau_{12} = 28000$. Model *spline* birespon pada variabel respon IHSG optimal pada lamda 0.01, orde 1 dan 2 titik knot dengan nilai GCV untuk prediktor inflasi pada lamda 0.01 sebesar 47.274 untuk $\tau_{21} = 2.2$ dan $\tau_{22} = 2.4$. Nilai GCV untuk prediktor IDJ pada lamda 0.02 sebesar 72.296 untuk $\tau_{21} = 26600$ dan $\tau_{22} = 27000$. Dari model yang didapatkan dapat disimpulkan bahwa IHSG tidak cukup terpengaruh terhadap perubahan nilai inflasi dan IDJ. JII cukup terpengaruh terhadap perubahan nilai inflasi dan IDJ.

Kata Kunci : IHSG, JII, *Spline*, Birespon, Fungsi *Penalty*

ABSTRACT

Bi-response spline nonparametric regression is a regression method used for data patterns in which the form of the regression curve does not follow a parametric pattern with a spline estimator for cases where the data contains two responses and the two responses correlate with each other. The penalty function serves to obtain smooth or smooth curve estimation results, so in this study, we will examine the biresponse spline regression model, which considers the penalty function in its estimation criteria. The data in this study are IHSG and JII data for response variables and inflation data and IDJ for predictor variables. This study aims to obtain an estimated form of the biresponse spline regression model with a penalty function and the JCI and JII data models using a biresponse spline regression with a penalty function. The biresponse spline model on the JCI response variable is optimal at lambda 0.01, order one and 2-knot points with a GCV value for the inflation predictor of 4314.374 for $\tau_{11}=1.8$ and $\tau_{12}=2.1$. The GCV value for the IDJ predictor is 4730.954 for $\tau_{11}=26500$ and $\tau_{12}=28000$. The biresponse spline model on the JII response variable is optimal at lambda 0.01, order one and 2-knot points with the GCV value for the predictor of inflation at lambda 0.01 of 47,274 for $\tau_{21}=2.2$ and $\tau_{22}=2.4$. The GCV value for IDJ predictors at lambda 0.02 was 72,296 for $\tau_{21}=26600$ and $\tau_{22}=27000$. From the model obtained, it can conclude that the JCI is not sufficiently affected by changes in inflation and IDJ values. JII is immensely affected by changes in inflation and IDJ values.

Keywords : JCI, JII, Spline, Birespon, Penalty Function

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEOTENTIKAN	iii
HALAMAN PERSETUJUAN PEMBIMBING	iv
HALAMAN PENGESAHAN	v
KATA PENGANTAR	vi
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	ix
ABSTRAK	x
ABSTRACT	xi
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Regresi Nonparametrik.....	4
2.2 Fungsi <i>Spline</i>	4
2.3 <i>Spline</i> dengan Fungsi <i>Penalty</i>	6
2.4 Metode <i>Weighted Least Square</i>	8
2.5 Pemilihan Parameter Penghalus dan Knot Optimal	9
2.6 Uji Korelasi Pearson.....	9
2.7 Regresi <i>Spline</i> Birespon	10
2.8 Indeks Harga Saham Gabungan dan <i>Jakarta Islamic Index</i>	11
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	13
3.1 Sumber Data.....	13
3.2 Identifikasi Variabel.....	13
3.3 Metode Analisis.....	13

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	16
4.1 Estimasi Model Regresi <i>Spline</i> Birespon dengan Fungsi <i>Penalty</i>	16
4.2 Memodelkan Data Indeks Harga Saham Menggunakan Regresi <i>Spline</i> Birespon dengan Fungsi <i>Penalty</i>	23
4.2.1 Analisis Deskriptif.....	23
4.2.2 Uji Korelasi <i>Pearson</i>	25
4.2.3 Pemilihan Parameter Penghalus dan Titik Knot Optimal	25
4.2.4 Model Regresi Nonparametrik <i>Spline</i> Birespon dengan Fungsi <i>Penalty</i> pada Data Indeks Harga Saham	31
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	38
5.1 Kesimpulan.....	38
5.2 Saran	39
DAFTAR PUSTAKA	40
LAMPIRAN.....	43

DAFTAR GAMBAR

Gambar 4.1. <i>Scatter</i> Plot Data Indeks Harga Saham.....	24
Gambar 4.2. Plot GCV dengan Parameter Penghalus untuk Variabel Prediktor Inflasi dan Indeks Dow Jones pada Respon Indeks Harga Saham Gabungan.....	26
Gambar 4.3. Plot GCV dengan Parameter Penghalus untuk Variabel Prediktor Inflasi dan Indeks Dow Jones pada Variabel Respon Jakarta Islamic Index	26
Gambar 4.4. Estimasi Kurva Regresi Indeks Harga Saham Gabungan terhadap Inflasi	33
Gambar 4.5. Estimasi Kurva Regresi Indeks Harga Saham Gabungan terhadap Indeks Dow Jones	34
Gambar 4.6. Estimasi Kurva Regresi Jakarta Islamic Index terhadap Inflasi	36
Gambar 4.7. Estimasi Kurva Regresi Jakarta Islamic Index terhadap Indeks Dow Jones.....	37

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1. Statistik Deskriptif Indeks Harga Saham Gabungan, Jakarta Islamic Index, Inflasi dan Indeks Dow Jones	23
Tabel 4.2. Hasil Korelasi <i>Pearson</i>	25
Tabel 4.3. Nilai GCV untuk Orde Satu dengan Satu Titik Knot.....	27
Tabel 4.4. Nilai GCV untuk Orde Satu dengan Dua Titik Knot	28
Tabel 4.5. Nilai GCV untuk Orde Satu dengan Tiga Titik Knot.....	28
Tabel 4.6. Nilai GCV untuk Orde Dua dengan Satu Titik Knot	29
Tabel 4.7. Nilai GCV untuk Orde Dua dengan Dua Titik Knot.....	30
Tabel 4.8. Nilai GCV untuk Orde Dua dengan Tiga Titik Knot.....	31
Tabel 4.9. Nilai GCV Minimum untuk Variabel Respon Indeks Harga Saham Gabungan	32
Tabel 4.10. Nilai GCV Minimum untuk Variabel Respon Jakarta Islamic Index	35

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Indeks Harga Saham Gabungan, Jakarta Islamic Index, Inflasi dan Indeks Dow Jones 44

Lampiran 2. Hasil Uji Korelasi Person untuk Data Indeks Harga Saham 45

Lampiran 3. Nilai Parameter β untuk Variabel Respon Indeks Harga Saham Gabungan..... 46

Lampiran 4. Nilai Parameter β untuk Variabel Respon Jakarta Islamic Index .. 47

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Regresi nonparametrik adalah metode regresi yang cocok digunakan untuk pola data yang bentuk kurva regresinya tidak diketahui atau informasi masa lalu yang lengkap tentang bentuk pola datanya tidak tersedia. Metode regresi nonparametrik sangat fleksibel karena data yang menemukan bentuk estimasi kurva regresinya sendiri, terlepas dari subjektivitas peneliti (Eubank, 1999). Perkembangan dari regresi nonparametrik sudah sangat banyak seiring dengan kebutuhan data riil yang sangat kompleks. Regresi nonparametrik dikembangkan dalam beberapa estimator seperti *spline*, *kernel*, *fourier*, *wavelet* dan polinomial lokal (Fernandes, 2016).

Pendekatan regresi nonparametrik yang cukup sering digunakan adalah *spline* (Padatuan dkk., 2021). *Spline* merupakan potongan polinomial tersegmentasi yang bersifat kontinu, sehingga kemampuan adaptasi terhadap pola data yang naik atau turun secara tajam dengan bantuan titik-titik knot lebih efektif (Eubank, 1999). Estimator *spline* telah berkembang dengan sangat pesat seperti pada penelitian yang dilakukan oleh Bao dan Wan (2004) dengan menggunakan estimator *spline smoothing*. Pengujian hipotesis simultan yang dilakukan oleh Dani dkk. (2020) dengan menggunakan estimator *spline truncated*, pemodelan faktor risiko hipertensi dengan menggunakan estimator *spline penalized* yang dilakukan oleh Adiwati dan Chamidah (2019) dan lain-lain. Namun, penelitian-penelitian tersebut masih melibatkan satu respon dalam model regresi. Sementara pada kondisi data riil terdapat banyak kasus yang datanya memuat dua respon dan kedua respon tersebut saling berkorelasi, sehingga mulailah dikembangkan model regresi nonparametrik *spline* birespon.

Penelitian untuk *spline* birespon telah dilakukan oleh Chamidah dkk. (2019) dengan mengembangkan *spline least square* birespon, Tjahjono dkk. (2018) dengan mengembangkan *spline* deret *fourier* birespon dan Islamiyati dkk. (2022) yang mengembangkan *spline* PCA birespon. Penelitian-penelitian tersebut dalam kriteria estimasinya belum melibatkan fungsi *penalty*. Fungsi *penalty* berfungsi untuk mendapatkan hasil estimasi kurva yang *smooth* atau halus, sehingga dalam

penelitian ini akan diteliti mengenai model regresi *spline* birespon yang mempertimbangkan fungsi *penalty* dalam kriteria estimasinya.

Model regresi *spline* birespon dengan mempertimbangkan fungsi *penalty* ini akan diaplikasikan pada data Indeks Harga Saham Gabungan (IHSG) yang bersifat konvensional dan *Jakarta Islamic Index* (JII) yang bersifat syariah. Pergerakan Indeks Harga Saham Gabungan menjadi indikator penting bagi para investor untuk menentukan tindakan yang akan diambil terhadap saham-saham yang dimiliki seperti dengan menjual, menahan, atau membeli suatu atau beberapa saham baru (Agustina dkk., 2015). Sementara itu, dari tahun ke tahun index saham syariah dalam kelompok Jakarta Islamic Index (JII) menunjukkan nilai yang terus naik, mengindikasikan bahwa keberadaan saham syariah sangat diminati oleh para investor (Ash-Shidiq dan Setiawan, 2020). Dewanti dkk. (2020) telah meneliti mengenai pemodelan Indeks Harga Saham Gabungan dan *Jakarta Islamic Index*, akan tetapi penelitian tersebut menggunakan estimator *spline truncated*. Selanjutnya Salim dkk. (2017) menjelaskan bahwa pergerakan indeks harga saham dipengaruhi oleh beberapa faktor baik dari dalam negeri maupun luar negeri, seperti inflasi dan Indeks *Dow Jones*. Oleh sebab itu, dalam penelitian ini data tersebut akan dimodelkan dengan menggunakan model regresi *spline* birespon dengan fungsi *penalty*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, maka permasalahan yang dibahas dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana bentuk estimasi model regresi *spline* birespon dengan fungsi *penalty*?
2. Bagaimana model data Indeks Harga Saham Gabungan (IHSG) dan *Jakarta Islamic Index* menggunakan regresi *spline* birespon dengan fungsi *penalty*?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada estimasi model regresi *spline* birespon dengan fungsi *penalty* dalam penelitian ini adalah dalam pemodelan digunakan dua variabel respon, respon pertama adalah data Indeks Harga Saham Gabungan (IHSG) dan respon kedua adalah data *Jakarta Islamic Index*. Sedangkan variabel prediktor yang digunakan ialah data inflasi dan Indeks *Dow Jones*. Orde yang digunakan dalam

memodelkan data dibatasi pada orde 1 sampai orde 2 dengan penggunaan titik knot 1-3. Pemilihan model terbaik didasarkan pada kriteria nilai *Generalized Cross Validation* (GCV) minimum.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian yang ingin dicapai untuk menyelesaikan permasalahan dalam penelitian ini adalah:

1. Memperoleh bentuk estimasi model regresi *spline* birespon dengan fungsi *penalty*.
2. Memperoleh model data Indeks Harga Saham Gabungan (IHSG) dan *Jakarta Islamic Index* menggunakan regresi *spline* birespon dengan fungsi *penalty*.

1.5 Manfaat Penelitian

Berdasarkan latar belakang, maka manfaat dalam penelitian ini adalah:

1. Menambah wawasan dan pengetahuan mengenai estimasi model regresi *spline* birespon dengan fungsi *penalty*.
2. Memberikan informasi kepada para investor dan pelaku usaha sebagai bahan pertimbangan dalam mengambil keputusan investasi saham.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Regresi Nonparametrik

Regresi nonparametrik adalah analisis regresi yang digunakan ketika kurva regresi diasumsikan tidak memiliki bentuk tertentu berdasarkan pola hubungan antara variabel respon dan variabel prediktor. Pada regresi nonparametrik, bentuk kurva regresi hanya diasumsikan halus (*smooth*) (Budiantara, 2006). Metode regresi nonparametrik sangat fleksibel karena data diharapkan menemukan bentuk estimasi kurva regresinya sendiri, terlepas dari subjektivitas peneliti (Eubank, 1999).

Jika diberikan pasangan data (x_i, y_i) dengan $i = 1, 2, 3, \dots, n$, dan pola hubungan antara variabel respon dan variabel prediktor tidak diketahui bentuknya, maka dapat digunakan pendekatan nonparametrik. Secara umum, model regresi nonparametrik dapat dimodelkan dalam persamaan berikut:

$$y_i = f(x_i) + \varepsilon_i, i = 1, 2, \dots, n \quad (2.1)$$

dengan y_i merupakan variabel respon pada pengamatan ke- i , $f(x_i)$ merupakan persamaan kurva regresi nonparametrik, x_i sebagai variabel prediktor pada pengamatan ke- i dan ε_i adalah residual yang berdistribusi normal independen dengan *mean* 0 dan variansi σ^2 (Eubank, 1999).

2.2 Fungsi Spline

Spline merupakan salah satu model regresi nonparametrik yang memiliki fleksibilitas yang tinggi dan mampu menangani pola hubungan data yang perilakunya berubah-ubah pada sub-sub interval tertentu (Eubank, 1999). Secara umum, fungsi $f(x_i)$ pada Persamaan (2.1) dapat didekati dengan menggunakan fungsi *spline* sebagai berikut:

$$f(x_i) = \beta_0 + \sum_{l=1}^m \beta_l x_i^l + \sum_{k=1}^g \beta_{m+k} (x_i + \tau_k)_+^m \quad (2.2)$$

dengan $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_m, \beta_{m+1}, \dots, \beta_{m+g}$ adalah parameter regresi, τ_k merupakan titik knot ke- k ($k = 1, 2, \dots, g$). Apabila Persamaan (2.2) disubstitusikan ke dalam

Persamaan (2.1) akan diperoleh model regresi nonparametrik *spline* sebagai berikut:

$$y_i = \beta_0 + \sum_{l=1}^m \beta_l x_i^l + \sum_{k=1}^g \beta_{m+k} (x_i + \tau_k)_+^m + \varepsilon_i, i = 1, 2, \dots, n \quad (2.3)$$

Jika fungsi yang menyatakan hubungan antara p prediktor dengan respon tunggal maka fungsi *spline* $f(x_i)$ dalam Persamaan (2.3) dapat dinyatakan dalam bentuk sebagai berikut (Naim, 2020):

$$\begin{aligned} y_i &= f(x_{1i}) + f(x_{2i}) + \dots + f(x_{pi}) + \varepsilon_i \\ &= \sum_{j=1}^p f(x_{ij}) + \varepsilon_i, i = 1, 2, \dots, n \end{aligned}$$

dengan

$$f(x_{ij}) = \beta_{0j} + \sum_{l=1}^m \beta_{lj} x_{ij}^l + \sum_{k=1}^g \beta_{(m+k)j} (x_{ij} - \tau_{kj})_+^m \quad (2.4)$$

dengan

- y_i : variabel respon pada pengamatan ke- i ($i = 1, 2, \dots, n$)
- x_{ij} : variabel prediktor ke- j pada pengamatan ke- i ($j = 1, 2, \dots, p$)
- β_{0j} : intersep prediktor ke- j
- β_{lj} : parameter polinomial pada prediktor ke- j dan orde ke- l ($l = 1, 2, \dots, m$)
- τ_{kj} : nilai titik knot pada prediktor ke- j dan titik knot ke- k ($k = 1, 2, \dots, g$)
- g : banyaknya titik knot
- m : orde polinomial *spline*
- p : banyaknya variabel prediktor
- $\beta_{(m+k)j}$: parameter regresi pada prediktor ke- j dan titik knot ke- $(m + k)$
- ε_i : galat pada pengamatan ke- i yang diasumsikan saling bebas berdistribusi normal dengan *mean* 0 dan variansi σ^2

dengan fungsi *truncated* sebagai berikut:

$$(x_{ij} - \tau_{kj})_+^m = \begin{cases} (x_{ij} - \tau_{kj})^m, & x_{ij} \geq \tau_{kj} \\ 0, & x_{ij} < \tau_{kj} \end{cases} \quad (2.5)$$

Persamaan (2.3) dapat ditulis dalam bentuk matriks berukuran sebagai berikut:

$$\mathbf{y} = \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} + \boldsymbol{\varepsilon}$$

dengan \mathbf{y} merupakan vektor variabel respon berukuran $n \times 1$, matriks $\mathbf{X} = \text{diag}(\mathbf{X})$ adalah matriks diagonal berukuran $n \times ((\sum_{j=1}^p m_j + g_j) + 1)$ yang bergantung pada banyak orde dan titik knot optimal pada prediktor ke- j . $\boldsymbol{\beta}$ adalah matriks berukuran $((\sum_{j=1}^p m_j + g_j) + 1) \times 1$, serta $\boldsymbol{\varepsilon}$ merupakan vektor *error* berukuran $n \times 1$. Selanjutnya bentuk matriks dari fungsi $f(x_{ij})$ pada Persamaan (2.4) untuk n sampel berpasangan dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\mathbf{f} = \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} \quad (2.6)$$

dengan:

$$\mathbf{f} = \begin{bmatrix} f(x_1) \\ f(x_2) \\ \vdots \\ f(x_n) \end{bmatrix}, \quad \boldsymbol{\beta} = \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_{m+g} \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} 1 & x_1^1 & x_1^2 & \dots & x_1^m & (x_1 - \tau_1)_+^m & \dots & (x_1 - \tau_g)_+^m \\ 1 & x_2^1 & x_2^2 & \dots & x_2^m & (x_2 - \tau_1)_+^m & \dots & (x_2 - \tau_g)_+^m \\ \vdots & \vdots \\ 1 & x_n^1 & x_n^2 & \dots & x_n^m & (x_n - \tau_1)_+^m & \dots & (x_n - \tau_g)_+^m \end{bmatrix}$$

2.3 Spline dengan Fungsi Penalty

Spline dengan fungsi *penalty* memuat kriteria estimasi dengan dua fungsi yaitu fungsi *goodness of fit* dan fungsi *penalty* sehingga kriteria *spline* dengan fungsi *penalty* dalam model regresi nonparametrik adalah sebagai berikut:

$$SP = \sum_{i=1}^n (y_i - f(x_i))^2 + \lambda \sum_{k=1}^g \beta_{m+k}^2, \text{ dengan } \lambda \geq 0 \quad (2.7)$$

dengan λ adalah parameter penghalus, g adalah jumlah knot dan m adalah orde polinomial. Selanjutnya, untuk meminimumkan fungsi SP dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Mengubah $\sum_{i=1}^n (y_i - f(x_i))^2$ ke dalam bentuk matriks

$$\begin{aligned}
\sum_{i=1}^n (y_i - f(x_i))^2 &= (\mathbf{y} - \mathbf{f})^T (\mathbf{y} - \mathbf{f}) \\
&= (\mathbf{y} - \mathbf{X}\boldsymbol{\beta})^T (\mathbf{y} - \mathbf{X}\boldsymbol{\beta}) \\
&= \mathbf{y}^T \mathbf{y} - 2\mathbf{y}^T \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} + \boldsymbol{\beta}^T \mathbf{X}^T \mathbf{X}\boldsymbol{\beta}
\end{aligned} \tag{2.8}$$

2. Mengubah $\sum_{k=1}^g \beta_{m+k}^2$ ke dalam bentuk matriks

$$\begin{aligned}
\sum_{k=1}^g \beta_{m+k}^2 &= \beta_{m+1}^2 + \beta_{m+2}^2 + \dots + \beta_{m+g}^2 \\
&= \boldsymbol{\beta}^T \mathbf{D}\boldsymbol{\beta}
\end{aligned} \tag{2.9}$$

Diketahui matriks \mathbf{D} yang merupakan suatu matriks diagonal berukuran $((\sum_{j=1}^p m_j + g_j) + 1) \times ((\sum_{j=1}^p m_j + g_j) + 1)$, didefinisikan sebagai berikut:

$$\mathbf{D} = \begin{bmatrix} b_0 & 0 & \dots & 0 & & & 0 \\ 0 & b_1 & \dots & & & & \vdots \\ \vdots & & \ddots & & & & \\ 0 & & & b_m & & & 0 \\ \vdots & & & & b_{m+1} & & \vdots \\ & & & & & \ddots & \\ 0 & \dots & 0 & \dots & & & b_{m+g} \end{bmatrix} \tag{2.10}$$

dengan

$$\begin{aligned}
b_0 &= b_1 = \dots = b_m = 0 \\
b_{m+1} &= \dots = b_{m+g} = 1
\end{aligned}$$

sehingga fungsi *penalty* $\sum_{k=1}^h \beta_{m+k}^2$ dapat dituliskan dalam bentuk matriks sebagai berikut:

$$\sum_{k=1}^h \beta_{m+k}^2 = [\beta_0 \quad \beta_1 \quad \dots \quad \beta_{m+g}] \begin{bmatrix} b_0 & 0 & \dots & 0 & & & 0 \\ 0 & b_1 & \dots & & & & \vdots \\ \vdots & & \ddots & & & & \\ 0 & & & b_m & & & 0 \\ \vdots & & & & b_{m+1} & & \vdots \\ & & & & & \ddots & \\ 0 & \dots & 0 & \dots & & & b_{m+g} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_{m+g} \end{bmatrix}$$

selanjutnya Persamaan (2.7) dapat dinyatakan sebagai dalam bentuk matriks sebagai berikut (Islamiyati dan Herdiani, 2019):

$$SP = \mathbf{y}^T \mathbf{y} - 2\mathbf{y}^T \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} + \boldsymbol{\beta}^T \mathbf{X}^T \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} + \lambda \boldsymbol{\beta}^T \mathbf{D}\boldsymbol{\beta} \tag{2.11}$$

Nilai $\hat{\beta}$ dapat diperoleh dengan minimumkan Persamaan (2.11). Syarat agar Persamaan (2.11) minimum adalah turunan pertama terhadap β sama dengan 0.

$$\frac{\partial SP}{\partial \beta} = 0$$

Sehingga diperoleh:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \mathbf{y}^T \mathbf{y} - 2\mathbf{y}^T \mathbf{X}\beta + \beta^T \mathbf{X}^T \mathbf{X}\beta + \lambda \beta^T \mathbf{D}\beta}{\partial \beta} &= 0 \\ -2\mathbf{X}^T \mathbf{y} + 2\mathbf{X}^T \mathbf{X}\beta + 2\lambda \mathbf{D}\beta &= \mathbf{0} \\ (\mathbf{X}^T \mathbf{X} + \lambda \mathbf{D})\beta &= \mathbf{X}^T \mathbf{y} \\ \hat{\beta} &= (\mathbf{X}^T \mathbf{X} + \lambda \mathbf{D})^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{y} \end{aligned} \quad (2.12)$$

2.4 Metode *Weighted Least Square*

Metode *least square* merupakan salah satu metode yang digunakan untuk memperoleh estimasi parameter, dengan cara meminimumkan kuadrat residual. Metode *least square* yang sederhana dalam penggunaannya adalah metode *Ordinary Least Square* (OLS), namun dalam kasus pemodelan regresi dengan respon lebih dari satu, metode ini tidak dapat digunakan karena metode OLS tidak mengandung unsur korelasi dan kovariansi (Safitri, 2018). Untuk itu diperlukan metode *Weighted Least Square* (WLS) karena pada metode ini terdapat matriks pembobot \mathbf{W} yang digunakan untuk mengakomodir korelasi antar respon untuk multirespon (Wang, 2003 dalam Fernandes, 2016).

Untuk mengestimasi parameter fungsi dengan metode WLS dapat dilakukan dengan prosedur yang sama seperti OLS, dengan meminimumkan jumlah kuadrat antar pengamatan sebagai berikut :

$$(\boldsymbol{\varepsilon}^T \mathbf{W} \boldsymbol{\varepsilon}) = \left((\mathbf{y} - \mathbf{X}\beta)^T \mathbf{W} (\mathbf{y} - \mathbf{X}\beta) \right) \quad (2.13)$$

dengan β merupakan estimator WLS dan pembobot \mathbf{W} merupakan matriks dengan diagonal $\left(\frac{1}{n} \right)$, dengan n menyatakan banyaknya sampel, matriks \mathbf{W} berukuran $n \times n$ dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\mathbf{W} = \left(\frac{1}{n} \right) \mathbf{I}$$

Persamaan (2.14) selanjutnya diturunkan terhadap β dan disamakan dengan nol sehingga diperoleh estimator WLS sebagai berikut:

$$\hat{\beta} = (X^T W X)^{-1} X^T W y \quad (2.14)$$

(Searle, 1971 dalam Safitri, 2018)

2.5 Pemilihan Parameter Penghalus dan Knot Optimal

Titik knot merupakan perpaduan dua kurva yang menunjukkan pola perubahan perilaku kurva pada selang yang berbeda. Adapun parameter lamda λ merupakan pengontrol keseimbangan antara kemulusan fungsi terhadap data. Jika λ besar maka estimasi fungsi yang diperoleh akan semakin halus, dan sebaliknya jika λ kecil maka estimasi fungsi yang diperoleh akan semakin kasar (Eubank, 1999). Pemilihan titik knot dan parameter λ dilakukan secara *trial and error* dengan memilih titik knot yang berada di interval data pada variabel prediktor dan parameter λ yang bernilai positif. Model terbaik merupakan model yang berasal dari knot dan lamda optimal. Salah satu metode yang digunakan untuk memilih titik knot optimal dan lamda optimal adalah dengan menggunakan metode *Generalized Cross Validation* (GCV). Untuk menentukan titik knot dan parameter penghalus (λ) optimum dilakukan dengan cara menentukan nilai *Generalized Cross Validation* (GCV) yang minimum. Metode GCV dapat didefinisikan sebagai berikut (Fernandes, 2016):

$$GCV(\lambda) = \frac{MSE(\lambda)}{(n^{-1} \text{tr}[\mathbf{I} - \mathbf{H}(\lambda)])^2} \quad (2.15)$$

dengan

$$MSE(\lambda) = n^{-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (2.16)$$

$$\mathbf{H}(\lambda) = \mathbf{X}(\mathbf{X}^T \mathbf{X} + \lambda \mathbf{D})^{-1} \mathbf{X}^T \quad (2.17)$$

dengan \mathbf{I} merupakan matriks identitas, $\mathbf{H}(\lambda)$ adalah matriks parameter penghalus berukuran $n \times n$, \mathbf{D} adalah matriks diagonal berukuran $n \times \left(\left(\sum_{j=1}^p m_j + g_j \right) + 1 \right)$ dan \mathbf{X} adalah matriks variabel prediktor berukuran $n \times \left(\left(\sum_{j=1}^p m_j + g_j \right) + 1 \right)$.

2.6 Uji Korelasi Pearson

Koefisien korelasi merupakan satu nilai yang mengukur keeratan hubungan antara dua variabel. Nilai koefisien korelasi dapat dihitung sebagai berikut:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_i)(y_i - \bar{y}_i)}{\sqrt{(\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_i)^2)(\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2)}} \quad (2.18)$$

nilai r selalu berada diantara -1 sampai 1 ($-1 \leq r \leq 1$). Apabila nilai $r = 1$ maka dinamakan dengan korelasi linear positif sempurna. Apabila nilai $r = -1$ maka dinamakan korelasi linear negatif sempurna. Sedangkan apabila nilai $r = 0$ menunjukkan bahwa tidak terdapat korelasi antara kedua variabel tersebut. Pengujian koefisien korelasi dapat dilakukan sebagai berikut:

Hipotesis:

H_0 : Tidak terdapat hubungan antara kedua variabel.

H_1 : Terdapat hubungan antara kedua variabel.

Statistik uji (Tiro, 2002):

$$t_{hitung} = r \sqrt{\frac{n-2}{1-r^2}} \quad (2.19)$$

Daerah penolakan:

Tolak H_0 jika $t_{hitung} > t_{tabel}$

2.7 Regresi *Spline* Birespon

Regresi birespon didefinisikan sebagai salah satu model regresi yang memiliki variabel respon lebih dari satu buah dan diantara variabel-variabel tersebut terdapat korelasi atau hubungan yang kuat, baik secara logika maupun matematis (Wulandari dan Budiantara, 2014). Jika regresi birespon memiliki bentuk kurva regresi yang tidak diketahui, maka pendekatan yang digunakan adalah nonparametrik sehingga dikatakan regresi nonparametrik birespon. Model untuk regresi nonparametrik *spline* birespon dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} y_{1i} &= f_1(x_i) + \varepsilon_{1i} \\ y_{2i} &= f_2(x_i) + \varepsilon_{2i} \end{aligned} \quad (2.20)$$

Persamaan (2.20) dapat dinyatakan dalam bentuk vektor sebagai berikut:

$$\mathbf{y} = \mathbf{f} + \boldsymbol{\varepsilon}$$

dengan

$$\mathbf{y} = \begin{bmatrix} y_{1i} \\ y_{2i} \end{bmatrix}, \mathbf{f} = \begin{bmatrix} f_1(x_i) \\ f_2(x_i) \end{bmatrix} \text{ dan } \boldsymbol{\varepsilon} = \begin{bmatrix} \varepsilon_{1i} \\ \varepsilon_{2i} \end{bmatrix}$$

Fungsi f_1 dan f_2 adalah kurva regresi yang tidak diketahui bentuknya dan dihampiri dengan fungsi *spline* sebagai berikut (Wang, 1998 dalam Wulandari dan Budiantara, 2014):

$$\begin{aligned} f_1(x_i) &= \beta_0 + \sum_{l=1}^m \beta_{1l} x_i^l + \sum_{k=1}^g \beta_{1(m+k)} (x_i - \tau_k)_+^m \text{ dan} \\ f_2(x_i) &= \beta_0 + \sum_{l=1}^m \beta_{2l} x_i^l + \sum_{k=1}^g \beta_{2(m+k)} (x_i - \tau_k)_+^m \end{aligned} \quad (2.21)$$

dengan β_l merupakan parameter untuk variabel respon.

2.8 Indeks Harga Saham Gabungan dan *Jakarta Islamic Index*

Indeks Harga Saham Gabungan (IHSG) merupakan salah satu indikator keberhasilan ekonomi makro suatu negara selain faktor tingkat bunga (*interest rate*), nilai tukar (*exchange rate*) dan GNP. Ketika kondisi suatu negara dalam keadaan menurun maka Indeks Harga Saham Gabungan juga akan mengalami penurunan yang berakibat investor akan keluar dari pasar saham (Panji dan Piji, 2006 dalam Fitriany, 2017).

Saat ini di Bursa Efek Indonesia terdapat lima kelompok pasar dari seluruh jenis saham yang ditransaksikan, yakni kelompok gabungan seluruh saham (IHSG), kelompok 45 jenis saham pilihan (LQ), kelompok 134 jenis saham papan atas (*Main Board Index/MBX*), kelompok 205 jenis saham papan pengembangan (*Development Board Index/DBX*) dan 30 kelompok jenis saham pilihan islami (*Jakarta Islamic Index*).

Jakarta Islamic Index (JII) merupakan salah satu indeks saham yang ada di Indonesia yang menghitung indeks harga rata-rata saham untuk jenis saham yang memenuhi kriteria syariah. Tujuan pembentukan *Jakarta Islamic Index* adalah untuk meningkatkan kepercayaan investor pada saham berbasis syariah dan memberikan manfaat bagi pemodal dalam menjalankan syariah Islam untuk melakukan investasi di bursa efek dan diharapkan dapat mendukung proses transparansi, akuntabilitas saham berbasis syariah di Indonesia dan sebagai jawaban atas keinginan investor yang ingin berinventasi sesuai syariah (Fitriany, 2012).

Indeks *Dow Jones* (IDJ) adalah salah satu indeks pasar saham yang didirikan oleh penerbit *the Wall Street Journal* dan pemilik *Dow Jones* dan Perusahaan pasar saham di AS. Indeks *Dow Jones* merupakan indeks tertua di Amerika Serikat dan mulai diperkenalkan pada 26 Mei 1896 dengan 20 perusahaan industri. Saat ini IDJ terdiri dari 30 perusahaan industri terbesar di Amerika Serikat yang sudah melakukan IPO (*Initial Public Offering*) (Mayzan dan Sulasmiyati, 2018).

Inflasi adalah naiknya harga-harga komoditi secara umum yang disebabkan oleh tidak sinkronnya antara program sistem pengadaan komoditi (produksi, penentuan harga, pencetakan uang dan lain sebagainya) dengan tingkat pendapatan yang dimiliki oleh masyarakat. Selain itu, inflasi dapat didefinisikan sebagai kecenderungan naiknya harga barang dan jasa pada umumnya yang berlangsung secara terus menerus. Perhitungan inflasi dilakukan melalui pendekatan Indeks Harga Konsumen (IHK) sebagai indikator untuk mengukur biaya dari pasar konsumsi barang dan jasa (Femadiyanti dkk., 2020).