

**ANALISIS FAKTOR-FAKTOR YANG MEMENGARUHI PERUBAHAN
IKLIM DI INDONESIA MENGGUNAKAN MODEL ARDL TAHUN
2000-2023**



Dosen Pengampu:

Yuliagnis Transver Wijaya

Disusun Oleh:

KELOMPOK 8

Mohammad Agam Bonanza (222313214)

Muhammad Syafiq Mambulu (222313262)

Yulia Dwi Utari (222313436)

PROGRAM STUDI D-IV KOMPUTASI STATISTIK

POLITEKNIK STATISTIKA STIS

2025

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kami panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala limpahan rahmat dan karunia-Nya, sehingga tugas akhir mata kuliah Komputasi Statistik yang berjudul **"Analisis Faktor-Faktor Yang Memengaruhi Perubahan Iklim Di Indonesia Menggunakan Model Ardl Tahun 2000-2023"** ini dapat diselesaikan dengan baik.

Tugas ini disusun sebagai bentuk penerapan kemampuan analisis data statistik berbasis komputasi, dengan fokus pada faktor-faktor yang memengaruhi perubahan iklim di Indonesia dengan metode Autoregressive Distributed Lag (ARDL) pada periode 2000-2023.

Dalam penyusunan tugas ini, kami menggunakan pendekatan dashboard interaktif untuk memvisualisasikan hubungan antara faktor-faktor yang memengaruhi perubahan iklim. Diharapkan hasil analisis ini dapat memberikan gambaran yang komprehensif mengenai tren perubahan iklim di Indonesia selama periode 2000–2023, sekaligus menjadi dasar pengetahuan mengenai faktor-faktor yang memengaruhi perubahan iklim. Kami menyadari bahwa dalam penyusunan tugas ini masih terdapat kekurangan, baik dari segi teknik analisis maupun penyajian data. Oleh karena itu, kami terbuka terhadap segala bentuk kritik dan saran yang membangun guna perbaikan di masa yang akan datang.

Akhir kata, kami mengucapkan terima kasih kepada Bapak Yuliagnis Transver Wijaya, selaku dosen pengampu mata kuliah Komputasi Statistik, atas bimbingan dan arahannya selama proses penyusunan tugas ini. Semoga tugas ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan, serta menjadi referensi berguna bagi peneliti dan pembuat kebijakan di Indonesia.

Jakarta, 1 Mei 2025

Penulis

DAFTAR ISI

BAB I.....	4
PENDAHULUAN.....	4
1.1 Latar Belakang.....	4
1.2 Rumusan Masalah.....	5
1.3 Tujuan.....	5
BAB II.....	6
DESIGN.....	6
2.1 Pengumpulan Data.....	6
2.2 Pemrosesan Data.....	6
2.3 Penyajian Data.....	7
2.4 Timeline Pembuatan Project.....	7
BAB III.....	9
KONTRIBUSI.....	9
3.1 Manfaat Project.....	9
3.1.1 Bagi Pemerintah Indonesia.....	9
3.1.2 Bagi Peneliti dan Akademisi.....	9
3.1.3 Bagi Masyarakat Umum.....	9
3.2 Kontribusi Anggota Tim.....	9
BAB IV.....	11
HALAMAN UTAMA DASHBOARD.....	11
4.1 Upload Data.....	11
4.2 Uji Stasioneritas.....	13
4.3 Lag Optimum.....	15
4.4 Estimasi ARDL.....	16
4.5 Uji Asumsi Klasik.....	18
4.6 Uji Kointegrasi.....	20
4.7 Model Final.....	21
4.8 Uji Stabilitas.....	23
BAB V.....	26
KESIMPULAN DAN SARAN.....	26
5.1 Kesimpulan.....	26
5.2 Saran.....	27
REFERENSI.....	29

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perubahan iklim global merupakan salah satu tantangan terbesar yang dihadapi oleh dunia saat ini, dengan dampak yang dirasakan hampir di seluruh aspek kehidupan manusia. Indonesia, sebagai negara dengan kepulauan yang luas dan keragaman geografis yang tinggi, sangat rentan terhadap perubahan iklim. Dampak dari perubahan iklim, yang mencakup kejadian bencana alam seperti kekeringan dan banjir serta perubahan jangka panjang yang disebabkan oleh kenaikan permukaan air laut, kenaikan suhu, dan perubahan pola curah hujan (Parks et al., 2020; Wang et al., 2020). Berdasarkan peringkat risiko iklim global, Indonesia termasuk dalam tiga besar negara paling rentan akibat kepekaannya terhadap berbagai jenis banjir dan suhu ekstrem (Heinrich et al., 2021; Xu et al., 2020). Diproyeksikan bahwa ancaman ini akan semakin serius sejalan dengan laju perubahan iklim. Tanpa adanya upaya yang adaptif yang efektif, kerentanan penduduk akan terus meningkat (Fonseca et al., 2019; Lucash et al., 2018).

Di Indonesia, salah satu sumber utama perubahan iklim yaitu emisi karbon dioksida (Li, 2021; Rehman et al., 2022; Zhao et al., 2021). Emisi karbon dioksida dapat berasal dari sektor energi, perindustrian, maupun konversi lahan, khususnya kebakaran hutan dan lahan (karhutla). Selain itu, laju pertumbuhan penduduk juga memberi tekanan terhadap sumber daya alam dan energi, yang berpotensi memperburuk kondisi lingkungan.

Kegiatan perindustrian yang berkontribusi terhadap Produk Domestik Bruto (PDB) Indonesia turut menjadi perhatian dalam konteks perubahan iklim. Meskipun sektor ini penting dalam pertumbuhan ekonomi, peningkatan aktivitas industri dapat menyebabkan peningkatan emisi karbon dioksida yang tinggi apabila tidak diimbangi dengan teknologi ramah lingkungan. Di sisi lain, kebakaran hutan dan lahan yang sering terjadi di wilayah Sumatera dan Kalimantan menjadi penyumbang signifikan emisi gas rumah kaca, terutama dalam bentuk CO₂ dan partikel lainnya yang memperburuk kualitas udara serta meningkatkan suhu regional.

Untuk memahami keterkaitan variabel-variabel tersebut dengan perubahan iklim di Indonesia, diperlukan pendekatan kuantitatif yang dapat mengungkap hubungan jangka pendek dan jangka panjang secara empiris. Model Autoregressive Distributed Lag (ARDL) merupakan metode ekonometrika yang tepat digunakan dalam analisis ini, karena mampu menangani data deret waktu dengan integrasi orde berbeda dan memberikan informasi mendalam tentang dinamika hubungan antar variabel.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis faktor-faktor yang memengaruhi perubahan iklim di Indonesia pada periode 2000–2023, dengan menggunakan variabel peningkatan suhu sebagai indikator perubahan iklim dan sejumlah faktor independen seperti kebakaran hutan dan lahan, emisi karbon dioksida, emisi gas rumah kaca, kontribusi sektor industri terhadap PDB, serta laju pertumbuhan penduduk. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran yang lebih jelas tentang kontribusi masing-masing faktor terhadap perubahan iklim serta menjadi dasar pengambilan kebijakan lingkungan dan pembangunan berkelanjutan di Indonesia.

1.2 Rumusan Masalah

- a. Bagaimana gambaran umum dari faktor-faktor yang memengaruhi perubahan iklim?
- b. Apa saja faktor-faktor yang memengaruhi perubahan iklim di Indonesia pada periode 2000-2023?
- c. Bagaimana hubungan jangka pendek dan jangka panjang antara faktor-faktor tersebut terhadap perubahan iklim berdasarkan model ARDL?

1.3 Tujuan

- a. Mengetahui gambaran umum dari faktor-faktor yang memengaruhi perubahan iklim
- b. Mengetahui faktor-faktor yang memengaruhi perubahan iklim di Indonesia pada periode 2000-2023.
- c. Mengidentifikasi hubungan jangka pendek dan jangka panjang antara faktor-faktor penyebab dengan perubahan iklim di Indonesia menggunakan pendekatan model ARDL.

BAB II

DESIGN

2.1 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan menghimpun data sekunder yang relevan. Sumber data utama diperoleh dari portal resmi Badan Pusat Statistik (bps.go.id), Our World, dan World Bank

Adapun data yang dikumpulkan meliputi:

- Perubahan Suhu
- Luas Kebakaran Hutan dan Lahan
- Emisi CO₂ perkapita
- Emisi Gas Rumah Kaca
- Kontribusi Sektor Industri terhadap PDB(%)
- Laju Pertumbuhan Penduduk

Pengumpulan data dilakukan secara sistematis guna menjamin keterandalan dan relevansi data untuk mengidentifikasi hubungan jangka pendek dan jangka panjang antar variabel.

2.2 Pemrosesan Data

Data sekunder yang diperoleh dari BPS, Our World, dan World Bank diproses melalui tahap seleksi dan pengorganisasian untuk mendukung analisis yang sesuai dengan tujuan penelitian. Proses ini meliputi pemilihan variabel-variabel utama, yaitu peningkatan suhu dalam derajat celcius, luas kebakaran hutan dan lahan dalam hektar, emisi karbon dioksida dalam ton perkapita, emisi gas rumah kaca dalam persen terhadap tahun 1990, persen kontribusi sektor industri terhadap PDB dan laju pertumbuhan penduduk dalam persen pertahun. Selanjutnya, dilakukan konsolidasi data berdasarkan tahun kejadian untuk membentuk dataset yang terstruktur dan konsisten. Penyesuaian format data juga dilakukan untuk menyeragamkan satuan pengukuran, format angka, serta terminologi variabel. Pemrosesan ini tidak mengubah isi data, melainkan bertujuan untuk memastikan keterpaduan dan kemudahan penggunaan dalam analisis lebih lanjut.

2.3 Penyajian Data

Hasil analisis akan disajikan melalui sebuah dashboard interaktif yang dikembangkan menggunakan platform R Shiny. Dashboard ini dirancang untuk menyajikan visualisasi data secara informatif, komprehensif, dan mudah diinterpretasikan, sehingga dapat mendukung pengambilan keputusan berbasis data. Beberapa elemen visualisasi utama yang akan ditampilkan meliputi: (1) grafik tren tahunan peningkatan suhu dalam derajat celcius, (2) grafik tren tahunan luas kebakaran hutan dan lahan, (3) grafik tren tahunan emisi karbon dioksida, (4) grafik tren tahunan emisi gas rumah kaca, (5) grafik tren tahunan sektor industri, (6) grafik tren tahunan laju pertumbuhan penduduk, (7) grafik perkiraan perubahan iklim.

Selain visualisasi data utama, dasbor ini menyediakan alur kerja analisis ekonometrika yang lengkap dan terstruktur. Pengguna dapat memulai dengan mengunggah set data mereka sendiri, kemudian dasbor akan memandu melalui tahapan-tahapan penting, mulai dari uji stasioneritas untuk memeriksa sifat data, penentuan lag optimum secara otomatis, hingga pemilihan model ARDL terbaik. Dasbor juga memfasilitasi uji kointegrasi (Bounds Test), estimasi model jangka pendek dan panjang, serangkaian uji diagnostik (meliputi uji normalitas, heteroskedastisitas, dan autokorelasi), serta uji stabilitas model (CUSUM & CUSUM of Squares). Setiap tahapan dilengkapi dengan tabel hasil dan plot yang relevan untuk mempermudah interpretasi, memungkinkan pengguna untuk melakukan analisis ARDL secara mendalam dan interaktif.

Selain itu, dashboard dilengkapi dengan panel filter interaktif yang memungkinkan pengguna untuk memilih variabel, sehingga analisis dapat disesuaikan dengan kebutuhan spesifik. Penyajian data dalam bentuk dashboard ini diharapkan dapat mempermudah pemangku kepentingan, peneliti, maupun masyarakat umum dalam memahami pola faktor-faktor yang memengaruhi perubahan iklim di Indonesia pada periode 2000–2023.

2.4 Timeline Pembuatan Project

Kegiatan	Waktu Pelaksanaan
Penyusunan proposal dashboard dan pengumpulan data sekunder	27 April - 3 Mei 2025
Eksplorasi, preprocessing dan pengolahan awal data	4 - 17 Mei 2025
Analisis data dan pembuatan grafik awal untuk dashboard	18 - 31 Mei 2025
Pengembangan prototype dashboard R shiny	1 - 14 Juni 2025
Uji coba dashboard dan perbaikan fitur interaktif	15 - 21 Juni 2025
Finalisasi dashboard dan penyusunan laporan akhir	22 Juni - 5 Juli 2025
Pembuatan dan editing video penggunaan dashboard	6 - 13 Juli 2025
Pengumpulan laporan dan prototype dashboard	Maksimal 13 Juli 2025

BAB III

KONTRIBUSI

3.1 Manfaat Project

3.1.1 Bagi Pemerintah Indonesia

Memberikan masukan empiris bagi pemerintah dalam merumuskan kebijakan yang berbasis data dan bukti mengenai pengendalian perubahan iklim. Dengan mengetahui faktor-faktor yang memengaruhi perubahan iklim di Indonesia, pemerintah dapat menetapkan prioritas dalam upaya mitigasi, seperti pengendalian emisi gas rumah kaca, pengelolaan kebakaran hutan dan lahan, serta pembangunan industri yang ramah lingkungan.

3.1.2 Bagi Peneliti dan Akademisi

Menjadi referensi akademik dan bahan pengembangan dalam kajian-kajian terkait perubahan iklim, ekonomi lingkungan, dan model ekonometrika seperti ARDL. Selain itu, studi ini memperkaya literatur ilmiah tentang faktor-faktor yang memengaruhi perubahan iklim dalam konteks negara berkembang, khususnya Indonesia, serta dapat dijadikan dasar atau titik awal untuk penelitian lanjutan yang lebih mendalam, baik secara sektoral maupun regional.

3.1.3 Bagi Masyarakat Umum

Meningkatkan kesadaran masyarakat terhadap pentingnya menjaga lingkungan dan perannya dalam mengurangi dampak perubahan iklim. Informasi tentang penyebab perubahan suhu yang diperoleh dari penelitian ini dapat mendorong partisipasi masyarakat dalam berbagai upaya mitigasi, seperti mengurangi pembakaran lahan, efisiensi energi, dan penggunaan teknologi ramah lingkungan. Pengetahuan ini juga dapat menjadi dasar dalam membangun pola hidup berkelanjutan di tingkat individu maupun komunitas.

3.2 Kontribusi Anggota Tim

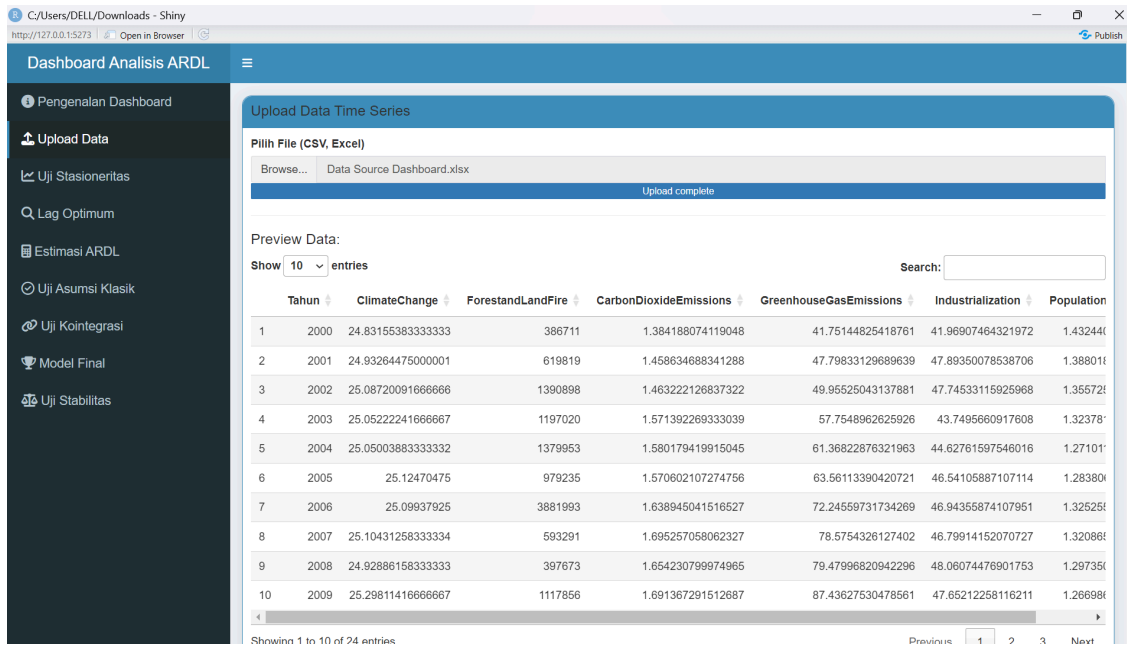
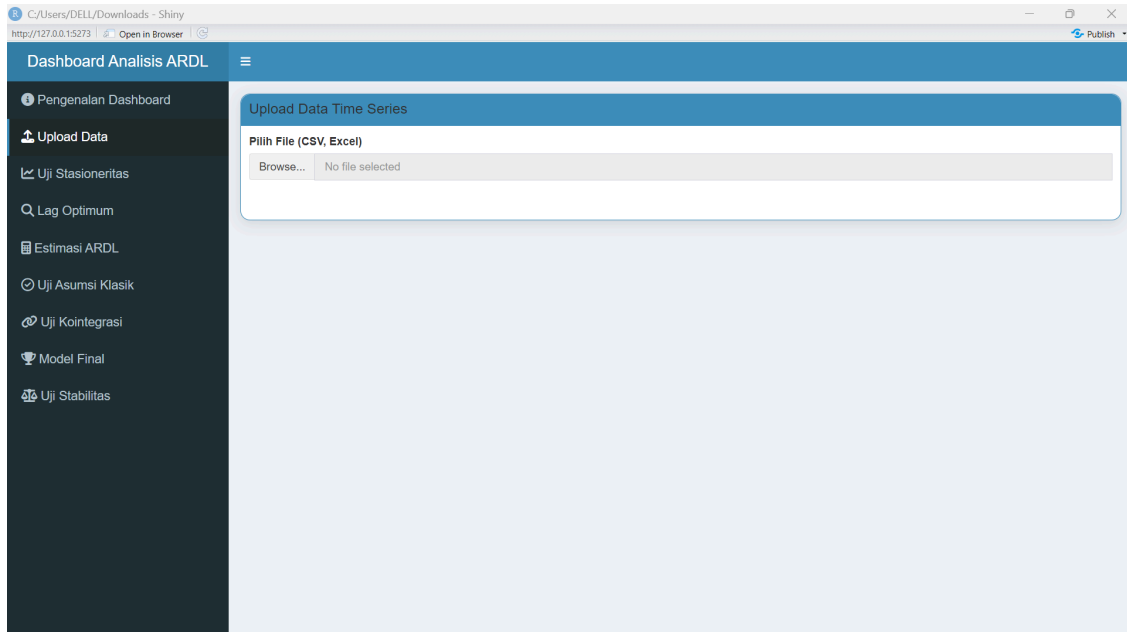
Nama Anggota	Output yang Dihasilkan
Mohammad Agam Bonanza	- Mencari judul, variabel, dan lokus

222313214	<p>yang relevan dengan topik climate change</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mengumpulkan dan memvalidasi data dari BPS, Our World, dan World Bank - Menyusun proposal - Membuat dashboard
Mohammad Syafiq Mambulu 222313262	<ul style="list-style-type: none"> - Menyusun proposal - Membuat dashboard
Yulia Dwi Utari 222313436	<ul style="list-style-type: none"> - Menyusun proposal - Membuat dashboard - Membuat video tutorial dan user guide

BAB IV

HALAMAN UTAMA DASHBOARD

4.1 Upload Data



The screenshot shows a web application interface for data analysis. It includes a sidebar on the left, a main content area with a 'Proses Data' button, and a 'Ringkasan Data' section displaying a summary table of the dataset.

Pilih Kolom Tanggal:
 Tahun

Pilih Variabel Independen:
☐ Tahun
☐ ClimateChange
☒ ForestandLandFire
☒ CarbonDioxideEmissions
☒ GreenhouseGasEmissions
☒ Industrialization
☒ PopulationGrowth

Pilih Variabel Dependen:
 ClimateChange

Proses Data

Ringkasan Data

Tahun	ClimateChange	ForestandLandFire	CarbonDioxideEmissions	GreenhouseGasEmissions	Industrialization
Min. :2000	Min. :24.83	Min. : 165484	Min. :1.384	Min. : 41.75	Min. :38.24
1st Qu.:2006	1st Qu.:25.10	1st Qu.: 394932	1st Qu.:1.624	1st Qu.: 70.07	1st Qu.:40.00
Median :2012	Median :25.30	Median : 616980	Median :1.886	Median :119.78	Median :42.71
Mean :2012	Mean :25.28	Mean : 978758	Mean :1.871	Mean :112.57	Mean :43.08
3rd Qu.:2017	3rd Qu.:25.44	3rd Qu.:1242753	3rd Qu.:2.044	3rd Qu.:146.94	3rd Qu.:46.61
Max. :2023	Max. :25.77	Max. :3881993	Max. :2.399	Max. :202.24	Max. :48.06
PopulationGrowth					
Min. :0.7046					
1st Qu.:1.0092					
Median :1.2638					
Mean :1.1572					
3rd Qu.:1.3032					
Max. :1.4324					

Menu Upload Data merupakan langkah awal dalam penggunaan dashboard ARDL. Pada menu ini, pengguna dapat mengunggah dataset yang akan dianalisis, dengan format file .xlsx (Excel). Dataset yang digunakan harus berupa data deret waktu tahunan, triwulanan, atau bulanan yang berisi variabel-variabel terkait perubahan iklim dan faktor-faktor penyebabnya.

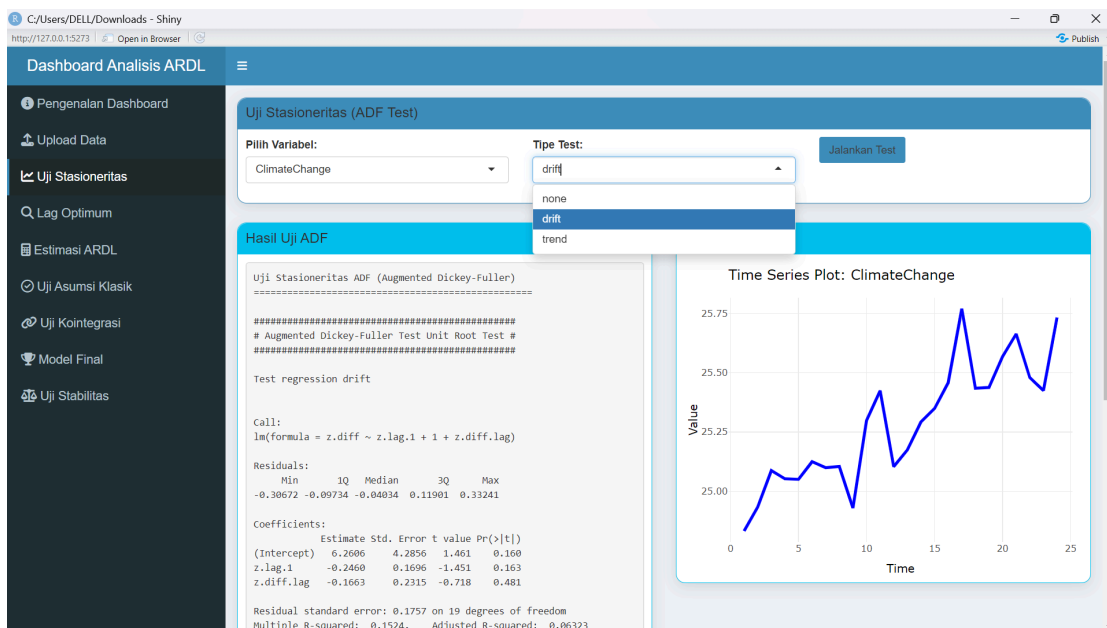
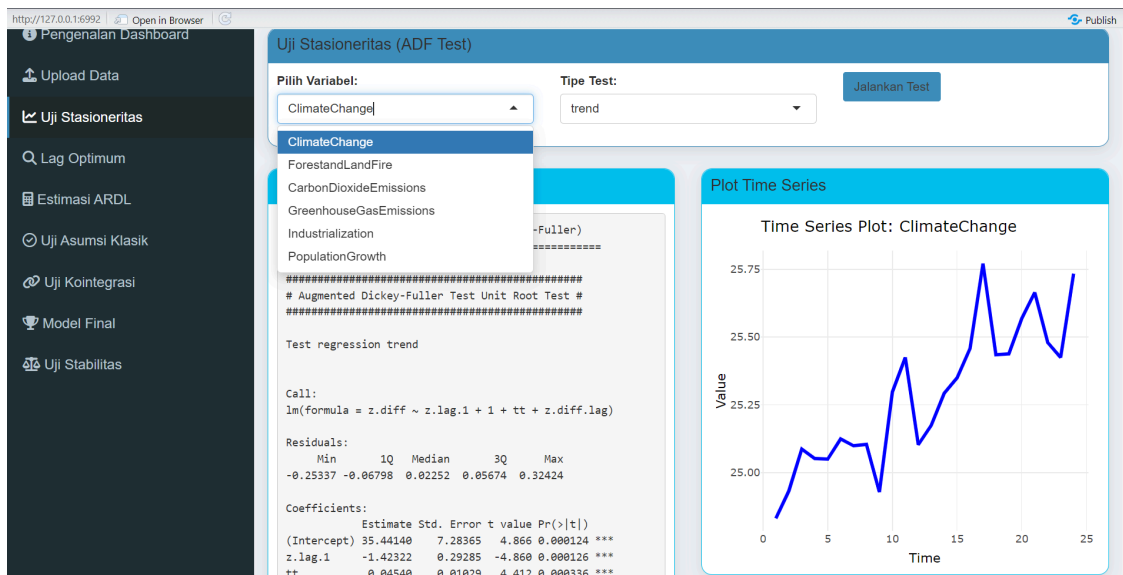
Setelah proses unggah berhasil, dashboard akan secara otomatis menampilkan tabel preview yang memuat seluruh isi dataset. Tabel ini memungkinkan pengguna untuk memverifikasi bahwa data berhasil dimuat dengan benar serta memastikan nama kolom dan struktur data telah sesuai dengan format yang diharapkan.

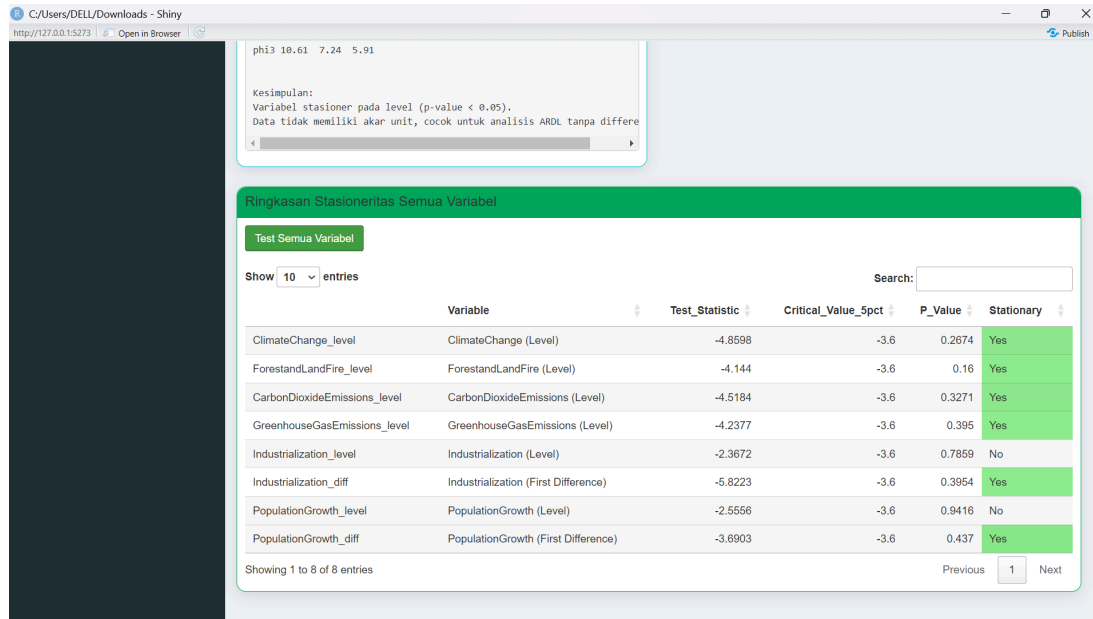
Selanjutnya, pengguna dapat melakukan pemilihan variabel untuk proses analisis, yang terdiri dari:

- Variabel Dependen (Y): variabel utama yang ingin dianalisis atau dipengaruhi oleh faktor lain (misalnya indikator perubahan iklim),
- Variabel Independen (X1, X2, dst.): variabel-variabel yang diduga memengaruhi variabel dependen (seperti emisi karbon, pertumbuhan industri, deforestasi, dll)

Sebagai tambahan, dashboard juga menyediakan fitur Ringkasan Data (Data Summary) untuk memberikan gambaran umum karakteristik awal data. Ringkasan ini mencakup informasi statistik deskriptif untuk setiap variabel terpilih, termasuk nilai minimum, maksimum, rata-rata (mean), standar deviasi, dan jumlah observasi (n). Fitur ini sangat membantu untuk mengidentifikasi potensi nilai ekstrim, anomali, atau missing values yang perlu diperhatikan sebelum analisis lebih lanjut dilakukan.

4.2 Uji Stasioneritas





Menu Uji Stasioneritas digunakan untuk memeriksa apakah suatu variabel dalam data deret waktu bersifat stasioner atau tidak. Stasioneritas adalah syarat penting dalam analisis time series, karena banyak model statistik mengasumsikan bahwa data yang dianalisis tidak memiliki pola tren atau fluktuasi varians yang berubah-ubah seiring waktu. Jika data tidak stasioner, maka hasil estimasi model dapat menjadi bias atau tidak valid.

Pengguna dapat memilih satu atau beberapa variabel dari dataset untuk dilakukan uji stasioneritas. Fitur ini memudahkan analisis selektif jika pengguna ingin menguji variabel tertentu terlebih dahulu. Tersedia juga tiga opsi model dalam Augmented Dickey-Fuller (ADF) Test yaitu

- none: tanpa konstanta atau tren,
- drift (with constant): mengandung konstanta,
- trend: mengandung konstanta dan tren deterministik.

Pemilihan ini penting karena hasil uji ADF dapat berbeda tergantung pada struktur deterministik dalam data

Setelah pengujian dilakukan, sistem akan menampilkan ringkasan hasil berupa nilai ADF statistic, p-value, Critical values (1%, 5%, 10%), serta kesimpulan yang

menjelaskan apakah variabel stasioner atau tidak pada level signifikansi tertentu. Adapun terdapat ringkasan hasil yang ditampilkan dalam bentuk tabel untuk semua variabel yang diuji, sehingga pengguna dapat dengan mudah membandingkan hasil antar variabel dan menentukan perlakuan selanjutnya dalam proses analisis.

4.3 Lag Optimum

Dashboard Analisis ARDL

- Pengenalan Dashboard
- Upload Data
- Uji Stasioneritas
- Lag Optimum**
- Estimasi ARDL
- Uji Asumsi Klasik
- Uji Kointegrasi
- Model Final
- Uji Stabilitas

Penentuan Lag Optimum

Maksimum Lag:

Kriteria Informasi: AIC BIC HQ

Hasil Seleksi Lag

Hasil Seleksi Lag Optimum

```

=====
$selection
AIC(n)  HQ(n)  SC(n)  FPE(n)
  2      2      1      1

$criteria
          1      2
AIC(n)   13.49624 1.303068e+01
HQ(n)    13.98691 1.394192e+01
SC(n)    15.57914 1.689892e+01
FPE(n)   833623.33113 1.313896e+06
  
```

Kesimpulan:
Lag optimum berdasarkan AIC adalah 2.
Gunakan lag ini untuk panduan estimasi model ARDL.

Lag merujuk pada jumlah periode waktu sebelumnya yang dimasukkan sebagai prediktor dalam model regresi deret waktu. Dalam konteks model ARDL, penentuan lag optimum merupakan langkah krusial yang harus dilakukan sebelum estimasi model, karena jumlah lag yang digunakan akan memengaruhi hasil analisis secara signifikan. Pemilihan lag yang tepat penting untuk menangkap dinamika jangka pendek dan jangka panjang dengan akurat, menghindari overfitting akibat terlalu banyak lag, dan meningkatkan validitas statistik dari model ARDL yang dibangun.

Pada menu ini, pengguna dapat menentukan nilai lag maksimum (misalnya 3, 5, atau 10) sebagai batas atas jumlah lag yang akan dipertimbangkan oleh sistem. Selanjutnya, sistem akan secara otomatis menghitung dan mengevaluasi seluruh kombinasi lag dari 0 hingga maksimum yang ditentukan, untuk masing-masing variabel dalam model. Selain itu, pengguna juga diberikan opsi untuk memilih kriteria informasi

yang akan digunakan dalam memilih model terbaik. Tersedia tiga jenis kriteria informasi yang umum digunakan:

- AIC (Akaike Information Criterion): cenderung memilih model yang lebih kompleks,
- BIC (Bayesian Information Criterion): lebih konservatif, cenderung memilih model yang lebih sederhana,
- HQ (Hannan–Quinn Criterion): menjadi kompromi antara AIC dan BIC.

4.4 Estimasi ARDL

The screenshot displays the 'Dashboard Analisis ARDL' interface. On the left is a sidebar menu with options: 'Pengenalan Dashboard', 'Upload Data', 'Uji Stasioneritas', 'Lag Optimum', 'Estimasi ARDL' (highlighted), 'Uji Asumsi Klasik', 'Uji Kointegrasi', 'Model Final', and 'Uji Stabilitas'. The main panel is titled 'Estimasi Model ARDL (Case 3: Unrestricted Intercept, No Trend)'. It features a text input for 'Maksimum Lag untuk Semua Variabel:' with the value '2' and a blue button labeled 'Estimasi Model ARDL (Auto Lag Selection)'. Below this, a green header reads 'Hasil Estimasi ARDL'. The results section contains the following text:

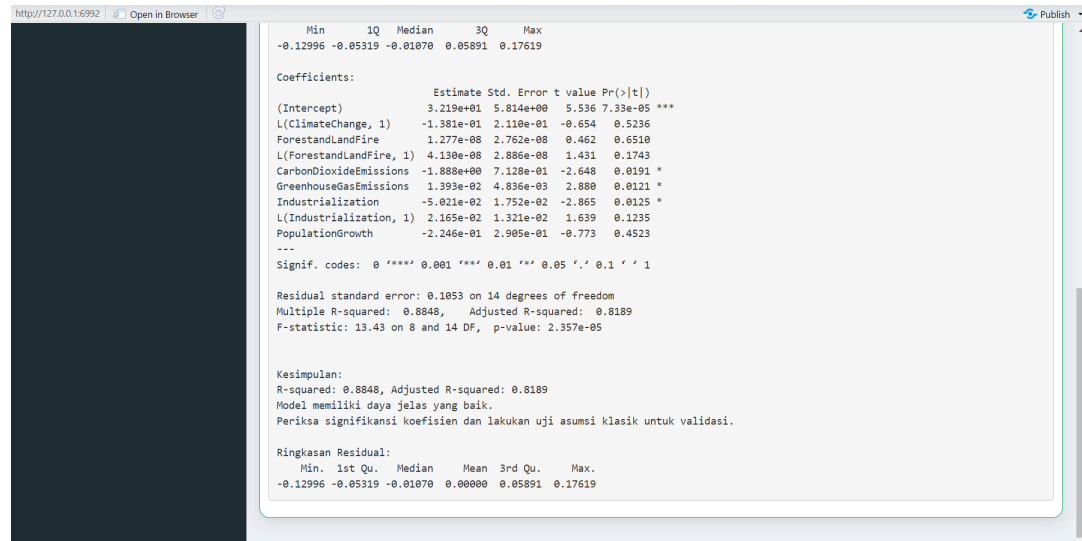
```
Estimasi Model ARDL (Auto Lag Selection, Case 3: Unrestricted Intercept, No Trend)
=====
Ringkasan Pencarian Model ARDL Otomatis:
      Length Class      Mode
best_model 19      dynlm      list
best_order  6      -none-    numeric
top_orders  7      data.frame list

Ringkasan Model ARDL Terbaik:

Time series regression with "ts" data:
Start = 2, End = 24

Call:
dynlm::dynlm(formula = full_formula, data = data, start = start,
             end = end)

Residuals:
```

The screenshot displays the output of an ARDL model estimation. It includes summary statistics, coefficient estimates with t-values and p-values, model fit statistics (R-squared, Adjusted R-squared, F-statistic), and a conclusion in Indonesian.

	Min	1Q	Median	3Q	Max
	-0.12996	-0.05319	-0.01070	0.05891	0.17619

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	3.219e+01	5.814e+00	5.536	7.33e-05 ***
L(ClimateChange, 1)	-1.381e-01	2.110e-01	-0.654	0.5236
ForestandLandFire	1.277e-08	2.762e-08	0.462	0.6510
L(ForestandLandFire, 1)	4.130e-08	2.886e-08	1.431	0.1743
CarbonDioxideEmissions	-1.888e+00	7.128e-01	-2.648	0.0191 *
GreenhouseGasEmissions	1.393e-02	4.836e-03	2.880	0.0121 *
Industrialization	-5.021e-02	1.752e-02	-2.865	0.0125 *
L(Industrialization, 1)	2.165e-02	1.321e-02	1.639	0.1235
PopulationGrowth	-2.246e-01	2.905e-01	-0.773	0.4523

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.1053 on 14 degrees of freedom
Multiple R-squared: 0.8848, Adjusted R-squared: 0.8189
F-statistic: 13.43 on 8 and 14 DF, p-value: 2.357e-05

Kesimpulan:
R-squared: 0.8848, Adjusted R-squared: 0.8189
Model memiliki daya jelas yang baik.
Periksa signifikansi koefisien dan lakukan uji asumsi klasik untuk validasi.

	Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
	-0.12996	-0.05319	-0.01070	0.00000	0.05891	0.17619

Menu Estimasi Model ARDL merupakan inti dari dashboard ini, di mana pengguna dapat membangun dan menampilkan model ARDL (Autoregressive Distributed Lag) berdasarkan variabel-variabel yang telah dipilih sebelumnya. Model ARDL sangat berguna untuk menganalisis hubungan antara variabel dependen dan sejumlah variabel independen, baik dalam jangka pendek maupun jangka panjang. Keunggulan ARDL adalah kemampuannya mengakomodasi variabel dengan tingkat stasioneritas yang berbeda, yaitu stasioner di level ($I(0)$) dan stasioner setelah diferensiasi satu kali ($I(1)$).

Dalam menu ini, pengguna dapat menentukan lag maksimum untuk seluruh variabel dalam model. Berdasarkan input tersebut, sistem akan secara otomatis mengevaluasi berbagai kombinasi lag dan memilih kombinasi lag optimal untuk setiap variabel (baik Y maupun X) menggunakan kriteria informasi yang telah ditentukan sebelumnya (AIC, BIC, atau HQ). Penentuan lag yang tepat sangat penting untuk menjaga keseimbangan antara kesederhanaan model dan ketepatan estimasi, serta untuk menghindari underfitting maupun overfitting.

Setelah estimasi selesai dilakukan, dashboard akan menampilkan ringkasan model ARDL yang mencakup:

- Nilai koefisien regresi untuk setiap variabel dan lag-nya,
- Nilai R-squared dan Adjusted R-squared sebagai ukuran kecocokan model,
- Nilai F-statistic dan p-value sebagai indikator signifikansi keseluruhan model,

- Nilai p-value individual untuk setiap variabel dalam model,
- Serta kriteria informasi dari model terbaik yang dipilih sistem.

Ringkasan ini memberikan gambaran menyeluruh bagi pengguna untuk mengevaluasi struktur dan kualitas model ARDL yang telah dibentuk sebelum melanjutkan ke tahap analisis lanjutan. Menu Upload Data merupakan langkah awal dalam penggunaan dashboard ARDL. Pada menu ini, pengguna dapat mengunggah dataset yang akan dianalisis, dengan format file .

4.5 Uji Asumsi Klasik



Setelah model ARDL terbentuk, langkah penting selanjutnya adalah melakukan uji asumsi klasik untuk memastikan bahwa hasil regresi memenuhi syarat-syarat statistik yang mendasarinya. Uji ini bertujuan untuk memberikan keyakinan bahwa model dapat digunakan secara valid dalam prediksi maupun pengambilan keputusan. Selain itu, hasil uji ini juga membantu mengidentifikasi apakah model perlu ditransformasi atau dimodifikasi jika terdapat pelanggaran terhadap asumsi dasar.

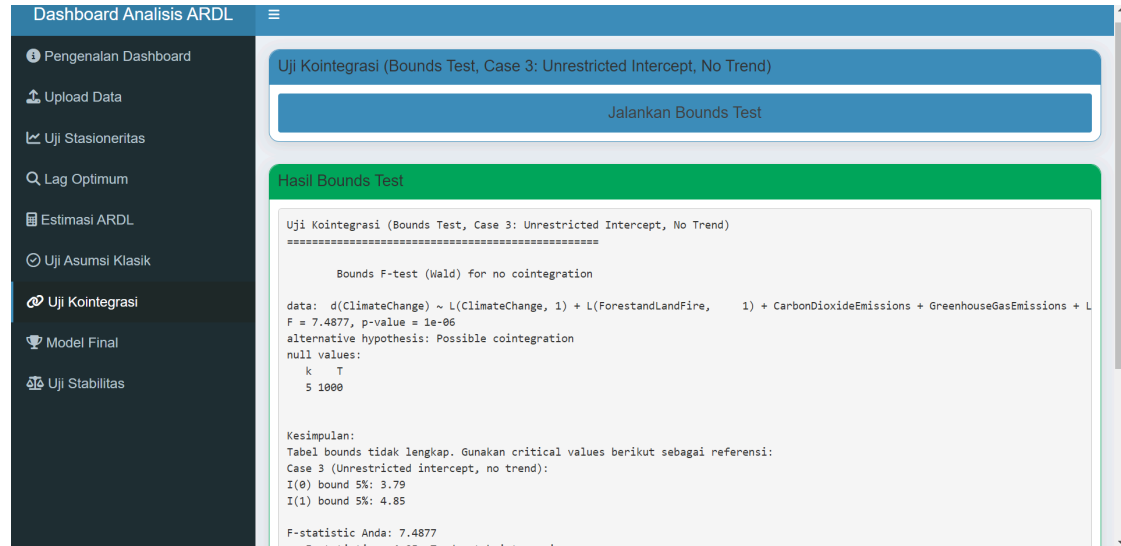
Menu ini menyediakan tiga jenis uji asumsi klasik utama, yaitu:

- Uji Normalitas, yang dilakukan menggunakan Jarque-Bera Test, berfungsi untuk mengevaluasi apakah distribusi residual (sisaan) dari model ARDL mendekati distribusi normal.
- Uji Homoskedastisitas, yang menggunakan Breusch-Pagan Test, bertujuan menguji apakah varians residual bersifat konstan (homoskedastis) atau justru mengalami perubahan (heteroskedastis) yang dapat memengaruhi reliabilitas model.
- Uji Autokorelasi, dilakukan menggunakan Breusch-Godfrey Test, digunakan untuk memeriksa apakah residual saling berkorelasi antar waktu, yang jika terjadi dapat menandakan adanya pelanggaran asumsi independensi residual.

Selain uji statistik, dashboard juga menyediakan dua visualisasi penting untuk mendukung interpretasi hasil:

- Plot Residual, yaitu grafik yang menunjukkan pola residual terhadap waktu atau terhadap nilai yang diprediksi (fitted values). Plot ini membantu mendeteksi adanya pola sistematis dalam residual yang dapat mengindikasikan ketidaktepatan spesifikasi model.
- QQ Plot (Quantile-Quantile Plot), digunakan untuk memvisualisasikan apakah residual mengikuti distribusi normal. Jika titik-titik pada grafik mengikuti garis diagonal, maka dapat disimpulkan bahwa residual mendekati distribusi normal.

4.6 Uji Kointegrasi



Uji Kointegrasi dilakukan setelah model ARDL terbentuk, dengan tujuan untuk mengetahui apakah terdapat hubungan jangka panjang antara variabel dependen dan variabel-variabel independen dalam model. Kehadiran kointegrasi mengindikasikan bahwa meskipun variabel-variabel tersebut bersifat tidak stasioner secara individu, kombinasi linier dari variabel-variabel tersebut tetap stasioner sehingga menunjukkan adanya keseimbangan jangka panjang di antara mereka.

Dalam dashboard ini, uji kointegrasi dilakukan menggunakan pendekatan Bound Test, yaitu metode yang dikembangkan oleh Pesaran et al. Bound Test bekerja dengan menguji signifikansi dari F-statistic hasil estimasi model ARDL. F-statistic tersebut kemudian dibandingkan dengan nilai kritis pada level signifikansi tertentu. Interpretasi hasilnya adalah:

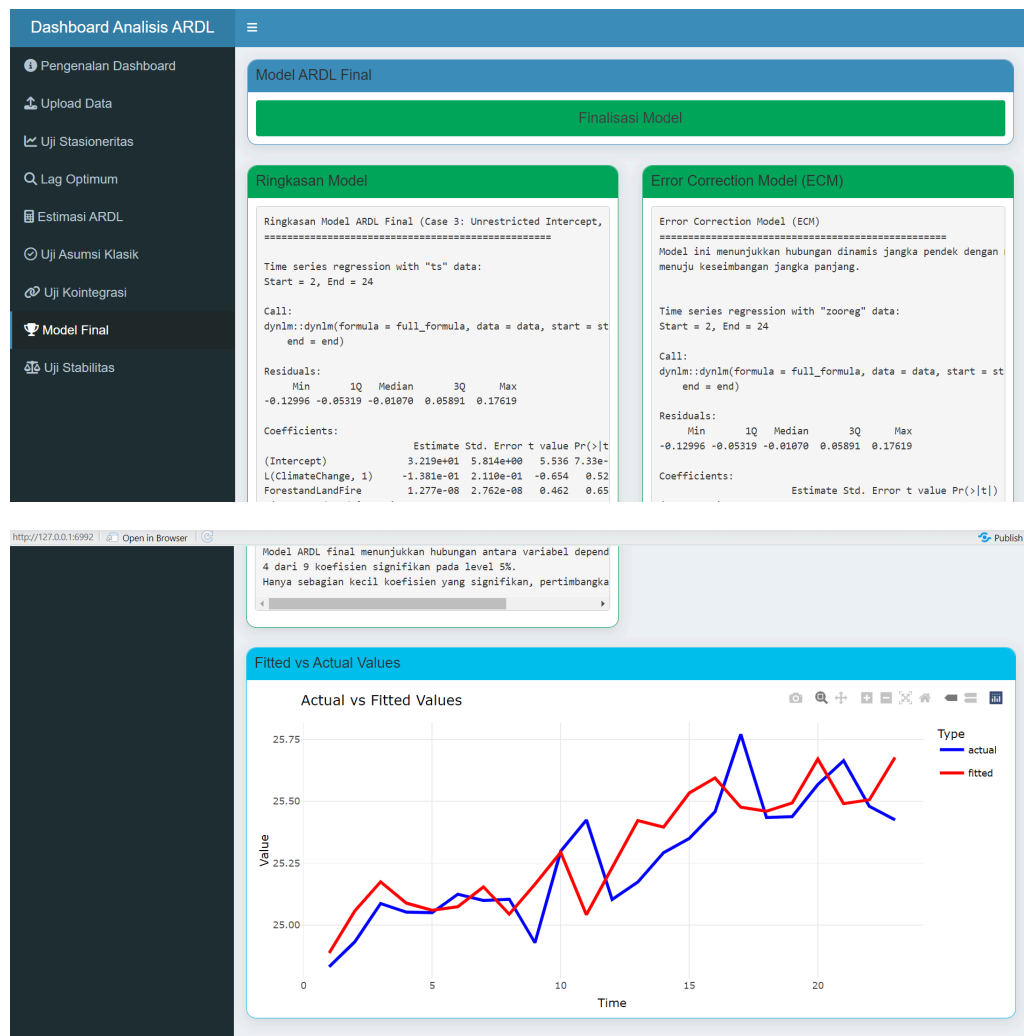
- Jika F-statistic lebih besar dari batas atas (upper bound) → terdapat kointegrasi
- Jika F-statistic lebih kecil dari batas bawah (lower bound) → tidak ada kointegrasi
- Jika berada di antara kedua batas tersebut → hasil inconclusive

Model yang digunakan dalam dashboard ini mengacu pada Case 3 dari spesifikasi Bound Test, yaitu model dengan intercept (konstanta) tanpa tren deterministik.

Spesifikasi ini umum digunakan dalam berbagai studi ekonomi dan lingkungan, terutama saat data tidak menunjukkan tren tetap yang signifikan, namun tetap berfluktuasi di sekitar nilai rata-ratanya.

Dengan demikian, fitur uji kointegrasi ini memberikan landasan penting untuk menentukan apakah analisis dapat dilanjutkan ke model jangka panjang dan model koreksi kesalahan (ECM) secara valid.

4.7 Model Final



Setelah proses pemilihan variabel, estimasi model ARDL, dan uji kointegrasi dilakukan, dashboard menyediakan tampilan Model Final yang menunjukkan hasil akhir dari model ARDL terbaik. Model ini dipilih berdasarkan kombinasi lag optimal serta

pemenuhan terhadap asumsi-asumsi statistik yang diperlukan. Menu ini bertujuan untuk memberikan gambaran menyeluruh terhadap performa model yang dihasilkan, baik dari sisi statistik maupun visualisasi, sehingga dapat menjadi dasar pertimbangan bagi pengguna dalam pengambilan keputusan atau kebijakan berbasis data.

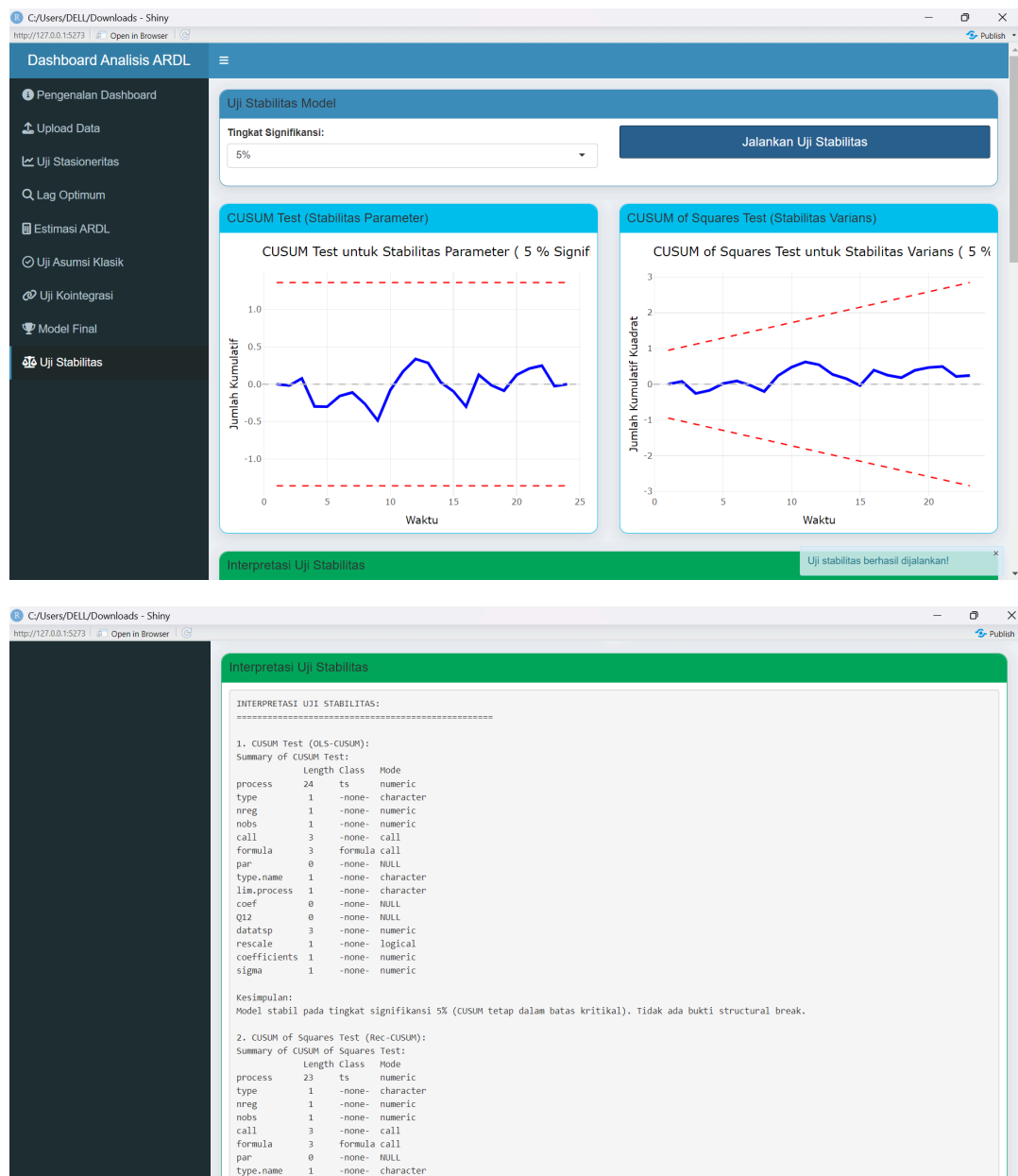
Dalam menu ini, ditampilkan Ringkasan Model Final yang mencakup informasi utama dari model ARDL terbaik, antara lain:

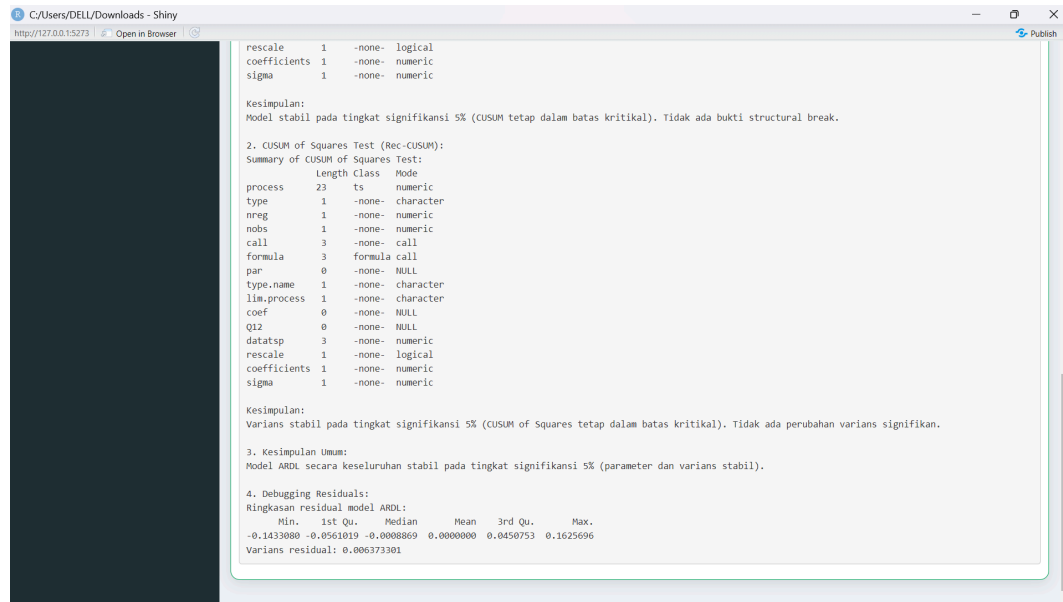
- Koefisien regresi untuk masing-masing variabel dan lagnya,
- Nilai R-squared dan Adjusted R-squared sebagai ukuran goodness of fit,
- Nilai F-statistic dan p-value sebagai indikator signifikansi keseluruhan model.

Ringkasan ini sangat membantu pengguna dalam mengevaluasi kontribusi masing-masing variabel terhadap variabel dependen, baik dalam hubungan jangka pendek maupun jangka panjang.

Selain ringkasan statistik, dashboard juga menampilkan grafik perbandingan antara nilai aktual (observed) dari variabel dependen dengan nilai fitted (prediksi) yang dihasilkan oleh model ARDL final. Grafik ini berfungsi sebagai alat visualisasi untuk menilai akurasi prediksi model. Jika garis fitted mengikuti pola dari nilai aktual dengan baik, maka hal ini menunjukkan bahwa model memiliki performa prediktif yang kuat.

4.8 Uji Stabilitas





Menu Uji Stabilitas digunakan untuk memeriksa apakah parameter dan varians dari model ARDL tetap stabil sepanjang periode pengamatan. Stabilitas model merupakan syarat penting agar hasil estimasi dapat diandalkan, baik untuk tujuan prediksi maupun interpretasi. Model yang stabil akan lebih cocok digunakan untuk pengambilan keputusan jangka panjang karena menunjukkan konsistensi dalam menjelaskan hubungan antar variabel.

Dashboard ini menyediakan dua jenis uji stabilitas yang umum digunakan, yaitu CUSUM Test dan CUSUM of Squares Test. Kedua uji ini disertai dengan visualisasi grafik, sehingga pengguna dapat dengan mudah menginterpretasikan hasilnya. Pengguna juga dapat menentukan tingkat signifikansi (misalnya 5% atau 1%) sebagai batas kepercayaan dalam pengujian. Tingkat signifikansi ini akan digunakan untuk menentukan batas kritis (confidence bands) yang ditampilkan pada grafik.

CUSUM Test (Stabilitas Parameter) digunakan untuk mendeteksi apakah koefisien regresi dalam model mengalami perubahan signifikan sepanjang waktu. Grafik CUSUM menunjukkan apakah parameter model stabil: jika garis uji berada di dalam batas kritis, maka model dianggap stabil. Sebaliknya, jika garis melampaui batas tersebut, maka terdapat indikasi instabilitas parameter.

CUSUM of Squares Test (Stabilitas Varians) digunakan untuk menguji apakah varians residual (error) tetap konstan dari waktu ke waktu. Uji ini penting untuk mendeteksi adanya perubahan struktural atau heteroskedastisitas waktu, yang dapat memengaruhi validitas model dalam jangka panjang.

Dengan adanya kedua uji ini, pengguna dapat mengevaluasi ketahanan model ARDL terhadap perubahan data dan memastikan bahwa model yang digunakan benar-benar representatif untuk keseluruhan periode analisis.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Pembuatan dashboard interaktif ini merupakan langkah inovatif dalam memperjelas hubungan antara faktor-faktor yang memengaruhi perubahan iklim di Indonesia pada periode 2000-2023. Melalui visualisasi data yang informatif dan terstruktur, dashboard ini mampu menyajikan informasi mengenai tren tahunan perubahan suhu, tren tahunan luas kebakaran hutan dan lahan, tren tahunan emisi karbon dioksida, tren tahunan emisi gas rumah kaca, tren tahunan sektor industri, tren tahunan laju pertumbuhan penduduk, serta grafik perkiraan perubahan iklim.

Dengan adanya dashboard ini, diharapkan pengambil kebijakan, peneliti, maupun masyarakat umum dapat dengan mudah memahami dinamika ancaman yang terjadi, serta mengenali pola-pola yang berkaitan dengan perubahan iklim. Kemudahan akses terhadap informasi berbasis data ini memungkinkan pemerintah Indonesia untuk upaya mitigasi, seperti pengendalian emisi gas rumah kaca, pengelolaan kebakaran hutan dan lahan, serta pembangunan industri yang ramah lingkungan yang lebih terarah, tepat sasaran, dan berbasis bukti.

Secara keseluruhan, pengembangan dashboard ini menjadi kontribusi strategis dalam mendukung upaya penanganan perubahan iklim di Indonesia. Melalui penyajian data yang valid dan terkini, dashboard ini memperkuat pendekatan data-driven decision making, sehingga proses mitigasi, perencanaan pembangunan, dan penyusunan kebijakan dapat dilakukan secara lebih tepat, terukur, dan responsif terhadap dinamika lingkungan. Dengan demikian, dashboard ini tidak hanya berfungsi sebagai alat bantu visualisasi, tetapi juga sebagai sarana edukasi dan advokasi dalam meningkatkan kesiapsiagaan terhadap risiko perubahan iklim dan bencana lingkungan di masa mendatang.

5.2 Saran

Agar pemanfaatan dashboard ini dapat lebih optimal, disarankan beberapa langkah lanjutan, yaitu:

a. Integrasi Data Real-Time

Dashboard dapat ditingkatkan dengan mengintegrasikan pembaruan data secara berkala dari lembaga resmi seperti BMKG, KLHK, BPS, dan Kementerian Perindustrian. Validasi data antarinstansi juga penting untuk menjamin akurasi, konsistensi, dan relevansi data yang ditampilkan, sehingga analisis tren iklim dan faktor-faktornya dapat dilakukan secara tepat waktu dan berbasis bukti.

b. Perluasan Variabel Analisis

Penelitian selanjutnya disarankan untuk memperluas cakupan variabel dengan memasukkan indikator lingkungan lainnya seperti deforestasi, penggunaan energi fosil dan terbarukan, indeks kualitas udara, dan perubahan tata guna lahan. Hal ini akan memperkaya analisis dan memberikan gambaran yang lebih komprehensif terhadap penyebab perubahan iklim.

c. Peningkatan Aksesibilitas Dashboard

Dashboard sebaiknya dikembangkan dalam bentuk web interaktif yang mudah diakses oleh berbagai pihak, termasuk pemerintah pusat dan daerah, peneliti, pelajar, dan masyarakat umum. Visualisasi yang interaktif dan mudah digunakan akan meningkatkan pemahaman publik terhadap risiko dan dinamika perubahan iklim di Indonesia.

d. Pelatihan dan Sosialisasi

Pemanfaatan dashboard ini akan lebih efektif jika didukung oleh pelatihan teknis bagi pemerintah daerah, peneliti, dan institusi pendidikan untuk memahami cara membaca dan memanfaatkan data secara strategis. Selain itu, sosialisasi dan edukasi kepada masyarakat luas diperlukan agar pemahaman terhadap isu perubahan iklim dapat ditingkatkan secara kolektif.

e. Penguatan Fungsi Dashboard sebagai Alat Perencanaan

Dashboard ini dapat dimanfaatkan sebagai salah satu alat bantu dalam proses perencanaan pembangunan nasional dan daerah, khususnya dalam

perumusan kebijakan mitigasi perubahan iklim dan pembangunan berkelanjutan yang berbasis data dan prediksi ilmiah.

Dashboard yang dikembangkan dari hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi nyata dalam memperkuat ketahanan iklim Indonesia serta mendukung pengambilan keputusan yang lebih responsif, adaptif, dan berbasis data.

REFERENSI

- Fonseca, M. G., Alves, L. M., Aguiar, A. P. D., Arai, E., Anderson, L. O., Rosan, T. M., Shimabukuro, Y. E., & de Aragão, L. E. O. e. C. (2019). Effects of Climate and Land-Use Change Scenarios on Fire Probability During The 21st Century in The Brazilian Amazon. *Global Change Biology*. <https://doi.org/10.1111/gcb.14709>
- Heinrich, V. H. A., Dalagnol, R., Cassol, H. L. G., Rosan, T. M., de Almeida, C. T., Silva Junior, C. H. L., Campanharo, W. A., House, J. I., Sitch, S., Hales, T. C., Adami, M., Anderson, L. O., & Aragão, L. E. O. C. (2021). Large Carbon Sink Potential of Secondary Forests in The Brazilian Amazon to Mitigate Climate Change. *Nature Communications*, 12(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-021-22050-1>
- Kurniawan, K., Supriatna, J., Sapoheluwakan, J., Edhi Budhi Soesilo, T., Mariati, S., Gunarso, G., & Fatimah. (2022). The Analysis of Forest and Land Fire and Carbon and Greenhouse Gas Emissions on the Climate Change in Indonesia. In *Universitas Indonesia Salemba. Jl. Salemba Raya* (Vol. 24, Issue 2). Jakarta Pusat.
- Lucash, M. S., Scheller, R. M., Sturtevant, B. R., Gustafson, E. J., Kretchun, A. M., & Foster, J. R. (2018). More than the sum of its parts: how disturbance interactions shape forest dynamics under climate change. *Ecosphere*, 9(6). <https://doi.org/10.1002/ecs2.2293>
- Parks, S. A., & Abatzoglou, J. T. (2020). Warmer and Drier Fire Seasons Contribute to Increases in Area Burned at High Severity in Western US Forests From 1985 to 2017. *Geophysical Research Letters*. <https://doi.org/10.1029/2020GL089858>
- Wang, Z., Rasool, Y., Zhang, B., Ahmed, Z., & Wang, B. (2019). Dynamic Linkage Among Industrialisation, Urbanisation, and CO2 Emissions in APEC Realms: Evidence Based on DSUR estimation. *Structural Change and Economic Dynamics*. <https://doi.org/10.1016/j.strueco.2019.12.001>
- Xu, X., Jia, G., Zhang, X., Riley, W. J., & Xue, Y. (2020). *Climate Regime Shift and Forest Loss Amplify Fire in Amazonian Forest*.