Slide I

Thank you for the time. Here, I will present the results of my study. This study is aimed at conducting stress inversion in the Sulawesi region and its surroundings to determine the principal stress directions from the stress fields present in Sulawesi and the sorrounding areas.

Slide II

The method we used is the STRESSINVERSE method by Vavricuk (2014), which is an improvement of the method developed by Michael (1984) for inverting the principal stress directions from focal mechanism data. Vavricuk's method incorporates the calculation of fault instability to evaluate which of the two planes provided by a focal mechanism represents the actual fault plane. Additionally, we employed bootstrap resampling to assess the uncertainty of our calculations.

Before performing the inversion, we conducted clustering to group earthquake events that occurred under the same stress field, allowing us to obtain results that better represent the stress field in the area. For this purpose, we utilized the DBSCAN algorithm.

Finally, we calculated the SHmax values and the Simpson index for each inversion result to determine the horizontal orientation of the principal stress and identify the tectonic regime that characterizes the area.

Slide III

Here, we present the data used in our study, comprising 1,390 focal mechanism data points with depths below 50 km and magnitudes ranging from 4 to 7. The data utilized in this study were compiled from the BMKG, ISCGEM, and GCMT catalogs.

Slide IV

The clustering results obtained using the DBSCAN method yielded 30 overlapping clusters, based on the optimal parameters we identified: a minimum point of 15 and epsilon values of 0.35, 0.4, and 0.5. To facilitate the discussion, we divided the study area into several regions: northern Sulawesi, southern Sulawesi, and surrounding areas of Sulawesi (including the Molucca Sea, Sula area, and East Nusa Tenggara region).

Slide V

In northern Sulawesi, 12 overlapping clusters were identified, which are distributed along the North Sulawesi Trench, the Palu-Koro Fault, and the eastern arm of Sulawesi.

We observed two distinct trends in the P-T axis orientations within this region. The first trend shows a P-axis in the N-S direction with a vertical T-axis in clusters formed along the North Sulawesi Trench. The second trend indicates a P-axis in the NW-SE direction in the Palu-Koro Fault area and the eastern arm of Sulawesi.

Slide VI

In southern Sulawesi, the clusters group earthquake events into two areas: along the Matano Fault in the eastern part and in the northern section of southern Sulawesi's arm. Both areas exhibit similar P and T-axis orientations, with the P-axis trending ENE-WSW and the T-axis trending NNW-SSE.

However, the P-axis orientation in the western part varies from horizontal to vertical. With the T-axis remaining relatively horizontal, this indicates a range of mechanisms from strike-slip to normal faulting in the area. We propose that, rather than grouping earthquakes resulting from the Makassar Strait subduction, this region more likely represents seismic events associated with the Mamasa Swamp.

Slide VII

In the Sula area, with a limited number of events, only a single cluster was formed. This cluster has a P-axis orientation similar to that observed in southern Sulawesi, trending NE-SW, but with a relatively vertical T-axis. This indicates that the earthquakes grouped within this cluster are compressional events likely associated with the Sorong Trench rather than earthquakes generated by the horizontal Sula Fault.

Slide VIII

The Molucca Sea area contains the largest dataset in our study, likely due to the presence of double subduction activity in this region. All clusters formed in this area exhibit compressional mechanisms, but with varying orientations.

In the northern equatorial region, the P-axis consistently trends WNW-ESE. In contrast, in the southern equatorial region, the P-axis shows slight rotation, with the western part oriented NW-SE and the eastern part oriented SW-NE.

Slide IX

This area is still an extension of the northern equatorial section of the Molucca Sea subduction zone, with the P-axis orientation predominantly trending S-W.

Slide X

With the extensive range of data included in our calculation process, we identified a cluster formation in the East Nusa Tenggara region. The P-T axis orientation indicates a compressional mechanism, with the P-axis trending NW-SE.

Slide XI

Stress Inversion Result

Slide XII  
In line with the orientation of the P-T axes, the northern Sulawesi region shows the presence of two dominant max horizontal stress orientations in this area. These are: the N-S orientation with a compressional regime along the North Sulawesi Trench, which is related to subduction activity in the region, and the NW-SE orientation in the Palu-Koro area and the eastern arm, which exhibits a more diverse tectonic regime.

Slide XIII  
In southern Sulawesi, the tectonic regimes formed in this area are predominantly strike-slip, with a SW-NE orientation.

Slide XIV  
The Sula region shows a compressional mechanism influenced by the Sorong subduction, with an orientation similar to that in southern Sulawesi.

Slide XV  
The Molucca Sea region also exhibits a compressional tectonic regime associated with the double subduction of the Sangihe Arc in the area. As mentioned earlier, the orientations of the max horizontal stresses in this region are diverse, primarily due to the rotation occurring south of the equator.

Slide XVI  
This section is an extension of the subduction zone in the northern Molucca Sea region. The orientation and regime remain consistent with compressional stresses trending NW-SE.

Slide XVII  
In line with the P-T axis directions, the max horizontal stress in this region exhibits an NW-SE orientation with a compressional regime resulting from the subduction activity in the area.

Slide XIII

Here, we present the SHmax orientations across the entire area that we calculated, along with a comparison to the results presented by Beaudouin (2003). It can be observed that our calculated results are generally in agreement with Beaudouin's inversion model (2003), although there are some differences.

The first difference is in the SHmax orientation in the northern Molucca Sea. We believe this discrepancy may be due to the difference in the number of events used in the inversion process—Beaudouin (2003) used 32 data, whereas we used 742 data. Given the similarity of the inversion directions in other regions and the larger dataset we used, we feel more confident in the results we obtained.

The second difference is in the Sula area. While the directions are relatively similar, Beaudouin (2003) identified a strike-slip regime for the area, whereas our results indicate a compressional regime. This difference is likely due to the distinct fault systems responsible for the events we inverted. Beaudouin (2003) performed the inversion on earthquakes caused by the horizontal Sula Fault, whereas our inversion was based on earthquakes resulting from the Sorong subduction zone.

Lastly, there is a difference in the results of the inversion in the southern Sulawesi arm. Similar to the second case, this difference arises from the distinct earthquakes analyzed—Beaudouin (2003) analyzed earthquakes caused by subduction, while we focused on earthquakes originating from the Mamasa Swamp. However, this directional difference appears only in Beaudouin's (2003) inversion results, as the PT axis orientations they calculated align closely with the SHmax directions from our inversion.

**Slide I**  
Terima kasih atas waktunya. Di sini, saya akan mempresentasikan hasil studi saya. Studi ini bertujuan untuk melakukan inversi tegangan di wilayah Sulawesi dan sekitarnya guna menentukan arah tegangan utama dari medan tegangan yang terdapat di Sulawesi dan daerah sekitarnya.

**Slide II**  
Metode yang kami gunakan adalah metode **STRESSINVERSE** oleh Vavricuk (2014), yang merupakan penyempurnaan dari metode yang dikembangkan oleh Michael (1984) untuk melakukan inversi arah tegangan utama dari data mekanisme fokus gempa. Metode Vavricuk mencakup perhitungan ketidakstabilan sesar guna mengevaluasi bidang sesar mana dari dua bidang yang diberikan oleh mekanisme fokus yang sebenarnya merupakan bidang sesar aktif.

Selain itu, kami menggunakan **bootstrap resampling** untuk menilai ketidakpastian dalam perhitungan kami. Sebelum melakukan inversi, kami melakukan **klasterisasi** untuk mengelompokkan kejadian gempa yang terjadi di bawah medan tegangan yang sama, sehingga hasil yang diperoleh dapat lebih merepresentasikan medan tegangan di wilayah tersebut. Untuk tujuan ini, kami menggunakan algoritma **DBSCAN**.

Terakhir, kami menghitung nilai **SHmax** dan **indeks Simpson** untuk setiap hasil inversi guna menentukan orientasi horizontal tegangan utama serta mengidentifikasi rezim tektonik yang mencirikan daerah tersebut.

**Slide III**  
Di sini, kami menyajikan data yang digunakan dalam studi kami, yang terdiri dari **1.390 data mekanisme fokus** dengan kedalaman kurang dari **50 km** dan magnitudo berkisar antara **4 hingga 7**. Data yang digunakan dalam studi ini dikompilasi dari katalog **BMKG, ISCGEM, dan GCMT**.

Slide IV

Hasil klasterisasi yang diperoleh menggunakan metode DBSCAN menghasilkan 30 klaster yang tumpang tindih, berdasarkan parameter optimal yang kami identifikasi: jumlah minimum titik 15 dan nilai epsilon 0,35, 0,4, serta 0,5. Untuk mempermudah diskusi, kami membagi wilayah studi menjadi beberapa daerah, yaitu: Sulawesi utara, Sulawesi selatan, dan daerah sekitarnya (termasuk Laut Maluku, wilayah Sula, dan Nusa Tenggara Timur).

**Slide V**

Di Sulawesi utara, teridentifikasi 12 klaster yang tumpang tindih, yang tersebar di sepanjang Palung Sulawesi Utara, Sesar Palu-Koro, dan lengan timur Sulawesi.

Kami mengamati dua pola yang berbeda dalam orientasi sumbu P-T di wilayah ini:

Pola pertama menunjukkan sumbu P berarah utara-selatan (N-S) dengan sumbu T vertikal, yang ditemukan pada klaster di sepanjang Palung Sulawesi Utara.

Pola kedua menunjukkan sumbu P berarah barat laut-tenggara (NW-SE), yang ditemukan pada klaster di wilayah Sesar Palu-Koro dan lengan timur Sulawesi.

Sejalan dengan orientasi **sumbu P-T**, wilayah **Sulawesi utara** menunjukkan keberadaan **dua orientasi utama tegangan horizontal maksimum (SHmax)**:

1. **Orientasi utara-selatan (N-S)** dengan **rezim kompresional** di sepanjang **Palung Sulawesi Utara**, yang berhubungan dengan **aktivitas subduksi** di wilayah ini.
2. **Orientasi barat laut-tenggara (NW-SE)** di **wilayah Palu-Koro dan lengan timur Sulawesi**, yang menunjukkan **rezim tektonik yang lebih beragam**.

**Slide VI**

Di Sulawesi selatan, klasterisasi mengelompokkan kejadian gempa menjadi dua wilayah:

Sepanjang Sesar Matano di bagian timur. Bagian utara dari lengan selatan Sulawesi.

Kedua wilayah ini menunjukkan pola orientasi sumbu P dan T yang serupa, dengan sumbu P berarah ENE-WSW dan sumbu T berarah NNW-SSE.

Namun, di bagian barat wilayah ini, orientasi sumbu P bervariasi dari horizontal hingga vertikal. Dengan sumbu T tetap relatif horizontal, hal ini menunjukkan adanya mekanisme yang bervariasi dari sesar geser (strike-slip) hingga sesar normal (normal faulting) di daerah tersebut.

Kami mengusulkan bahwa, alih-alih mengelompokkan gempa yang berasal dari subduksi Selat Makassar, wilayah ini lebih mungkin mewakili kejadian seismik yang berhubungan dengan Cekungan Mamasa.

Di **Sulawesi selatan**, **rezim tektonik yang dominan adalah sesar geser (strike-slip)**, dengan **orientasi tegangan SW-NE**.

**Slide VII**  
Di **wilayah Sula**, dengan jumlah kejadian gempa yang terbatas, hanya terbentuk **satu klaster**. Klaster ini memiliki **orientasi sumbu P** yang mirip dengan yang diamati di **Sulawesi selatan**, yaitu **berarah timur laut-barat daya (NE-SW)**, tetapi dengan **sumbu T yang relatif vertikal**.

Hal ini menunjukkan bahwa gempa yang tergabung dalam klaster ini merupakan **peristiwa kompresional** yang kemungkinan besar berhubungan dengan **Palung Sorong**, bukan akibat aktivitas **Sesar Sula** yang bersifat horizontal.

Wilayah **Sula** menunjukkan **mekanisme kompresional** yang dipengaruhi oleh **subduksi Sorong**, dengan **orientasi yang mirip dengan Sulawesi selatan**.

**Slide VIII**  
Wilayah **Laut Maluku** memiliki dataset terbesar dalam studi ini, kemungkinan disebabkan oleh adanya **aktivitas subduksi ganda** di daerah ini.

Semua klaster yang terbentuk di wilayah ini menunjukkan **mekanisme kompresional**, tetapi dengan **orientasi yang bervariasi**:

* Di **wilayah ekuator utara**, **sumbu P** secara konsisten berarah **barat-barat laut – timur-tenggara (WNW-ESE)**.
* Di **wilayah ekuator selatan**, **sumbu P** mengalami sedikit rotasi:
  + Di bagian barat, orientasinya **barat laut – tenggara (NW-SE)**.
  + Di bagian timur, orientasinya **barat daya – timur laut (SW-NE)**.

Wilayah **Laut Maluku** juga menunjukkan **rezim tektonik kompresional** yang berhubungan dengan **subduksi ganda Busur Sangihe** di daerah ini. Seperti disebutkan sebelumnya, **orientasi tegangan horizontal maksimum (SHmax) di wilayah ini beragam**, terutama akibat **rotasi yang terjadi di selatan ekuator**.

**Slide IX**  
Wilayah ini masih merupakan perpanjangan dari **zona subduksi Laut Maluku di bagian ekuator utara**, dengan orientasi **sumbu P yang didominasi oleh arah selatan – barat (S-W)**.

Wilayah ini merupakan **perpanjangan dari zona subduksi di bagian utara Laut Maluku**. **Orientasi dan rezim tektonik tetap konsisten**, dengan **tegangan kompresional berarah barat laut – tenggara (NW-SE)**.

**Slide X**  
Dengan cakupan data yang luas dalam proses perhitungan kami, kami mengidentifikasi **pembentukan klaster di wilayah Nusa Tenggara Timur**. **Orientasi sumbu P-T** menunjukkan **mekanisme kompresional**, dengan **sumbu P berarah barat laut – tenggara (NW-SE)**.

Sejalan dengan arah **sumbu P-T**, **tegangan horizontal maksimum (SHmax) di wilayah ini** menunjukkan **orientasi NW-SE**, dengan **rezim kompresional yang dihasilkan oleh aktivitas subduksi** di daerah ini.

**Slide XVIII**  
Di sini, kami menyajikan **orientasi SHmax di seluruh wilayah studi** yang telah kami hitung, beserta **perbandingan dengan hasil inversi yang dipublikasikan oleh Beaudouin (2003)**. Secara umum, hasil perhitungan kami **sejalan dengan model inversi Beaudouin (2003)**, meskipun terdapat beberapa perbedaan.

**Perbedaan pertama** terdapat pada **orientasi SHmax di bagian utara Laut Maluku**. Kami menduga bahwa perbedaan ini disebabkan oleh **jumlah data yang digunakan dalam proses inversi**—Beaudouin (2003) hanya menggunakan **32 data**, sementara kami menggunakan **742 data**. Mengingat bahwa arah inversi di wilayah lain memiliki kemiripan dan dataset yang kami gunakan lebih besar, kami lebih yakin dengan hasil yang kami peroleh.

**Perbedaan kedua** terdapat di **wilayah Sula**. Meskipun arah orientasi relatif mirip, Beaudouin (2003) mengidentifikasi wilayah ini memiliki **rezim tektonik sesar geser (strike-slip)**, sementara hasil kami menunjukkan **rezim kompresional**. Perbedaan ini kemungkinan disebabkan oleh **sistem sesar yang berbeda** yang bertanggung jawab atas kejadian gempa yang dianalisis. Beaudouin (2003) melakukan inversi pada **gempa yang dipengaruhi oleh Sesar Sula**, sementara hasil kami berdasarkan **gempa yang berasal dari subduksi Sorong**.

**Perbedaan terakhir** ditemukan di **lengan selatan Sulawesi**. Seperti kasus sebelumnya, perbedaan ini muncul akibat **gempa yang dianalisis berasal dari sumber yang berbeda**—Beaudouin (2003) menganalisis gempa yang disebabkan oleh **subduksi**, sedangkan kami menganalisis **gempa yang berasal dari Cekungan Mamasa**. Namun, **perbedaan orientasi ini hanya muncul dalam hasil inversi Beaudouin (2003)**, karena **orientasi sumbu P-T yang mereka hitung sebenarnya cukup selaras dengan arah SHmax dari hasil inversi kami**.