

## 2. ธรณีวิทยาและแหล่งทรัพยากรแร่ (Geology and Mineral Resources)

### 2.1 ธรณีวิทยาทั่วไป (General Geology) (รูปที่ 2)

#### 2.2.1 ขอบเขตธรณีวิทยาแปรสัณฐาน (Regional Tectonic Frameworks)

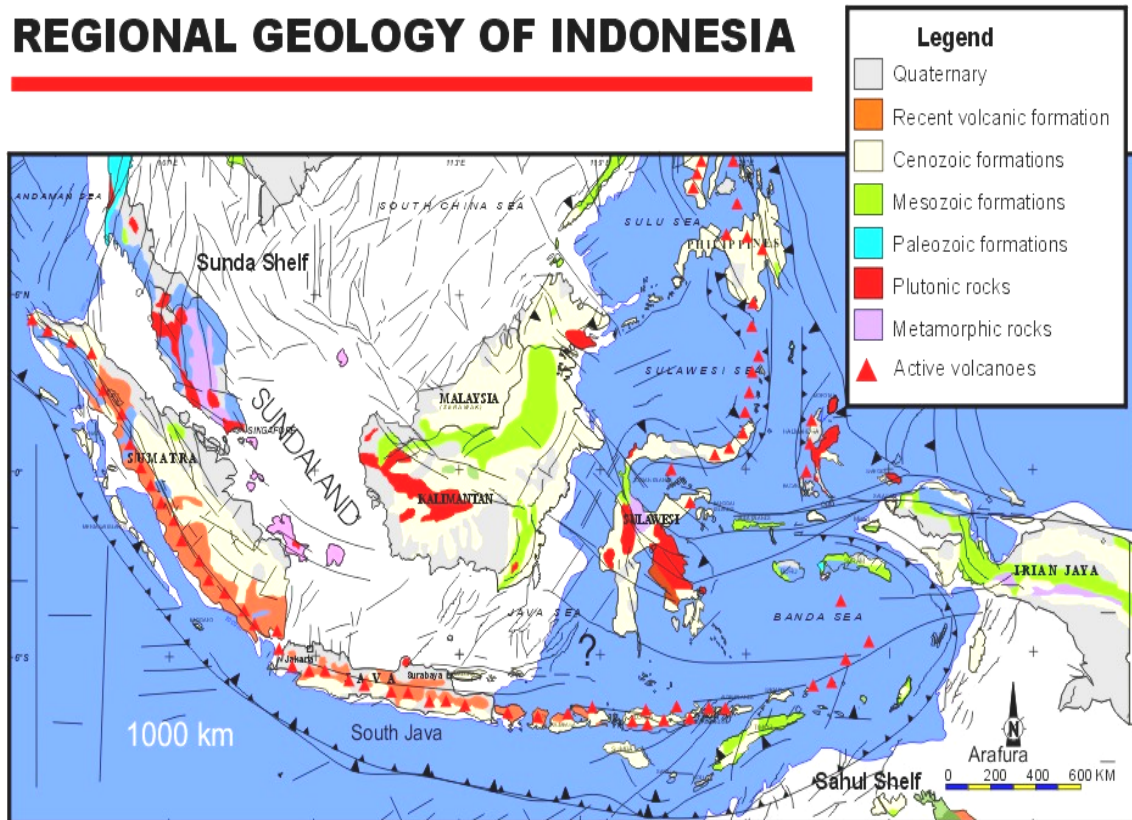
อินโดนีเซียตั้งอยู่ในบริเวณขอบทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ของแผ่นเปลือกโลกยูเรเชีย (Eurasian Plate) และถูกล้อมรอบด้วยแผ่นเปลือกโลกอินโด-ออสเตรเลีย (Indo-Australian Plate) ทางทิศใต้และตะวันตก ส่วนทางทิศตะวันออกเฉียงจะอยู่ติดกับแผ่นเปลือกโลกแปซิฟิก (Pacific Plate) ซึ่งในบริเวณขอบของแผ่นเปลือกโลกเหล่านี้มีการเคลื่อนที่ชนกัน ทำให้เกิดแนวภูเขาไฟ แผ่นดินไหว และรอยเลื่อนขนาดใหญ่ในบริเวณนี้ พื้นที่ในบริเวณไหล่ทวีปประกอบด้วย หินตะกอนยุคก่อนเทอร์เชียรี ที่ถูกเปลี่ยนแปลงอย่างรุนแรง (Intensely deformed) หินอัคนีเนื้อหยาบ และหินแปร ส่วนพื้นที่บริเวณขอบของแผ่นเปลือกโลกยังมีการเคลื่อนไหวอย่างต่อเนื่อง ตั้งแต่ยุคเทอร์เชียรีจนถึงปัจจุบัน ประกอบด้วยภูเขาไฟที่เกิดจากการยกตัวของเปลือกโลก ในยุคเทอร์เชียรี และหมู่เกาะภูเขาไฟรูปโค้ง (Volcanic arc) ได้แก่ เกาะสุมาตราและชวา สำหรับพื้นที่ในบริเวณด้านตะวันตกของประเทศอินโดนีเซีย ส่วนใหญ่ประกอบด้วยแอ่งตะกอนยุคเทอร์เชียรี ขณะที่ด้านตะวันออกเฉียงประกอบด้วยหินตะกอนที่มีอายุอยู่ในช่วง Paleozoic และ Mesozoic

#### 2.2.2 การลำดับชั้นหินภูมิภาค (Regional Stratigraphy)

##### 1) มหายุคพาลีโอโซอิก (Paleozoic)

ชั้นหินในมหายุคพาลีโอโซอิก พบในหลายบริเวณในอินโดนีเซีย ที่เกาะสุมาตรา บริเวณเทือกเขาบาริสัน (Barisan mountain range) ประกอบด้วยชั้นหินยุค Permo-Carboniferous ถึงมหายุคมีโซโซอิก (Mesozoic) หินส่วนใหญ่จะถูกแปรสภาพอย่างอ่อน ได้แก่ หิน slates, phyllites, wackes และหินปูน นอกจากนี้ยังพบหินภูเขาไฟชนิดเมฟิก (Mafic) หินภูเขาไฟชนิดเป็นกลาง (Intermediate) และหิน volcaniclastics หินปูนที่มีซากดึกดำบรรพ์ (Fossil) ที่มีอายุเก่าแก่มากที่สุดพบที่เกาะกลิมันตัน ประกอบด้วยซากของ fusulinids มีอายุอยู่ในช่วงยุค Carboniferous ตอนปลาย ในบริเวณเกาะกลิมันตัน หินแกรนิตแทรกตัวในหินแปรที่ประกอบด้วยหินอ่อน หิน schist, phyllite และ quartzite หินแกรนิตดังกล่าวหาอายุโดยวิธี K-Ar พบว่าอยู่ในช่วง Permian ถึง Triassic ตอนปลาย ในบริเวณเกาะอีเรียนจายา หินที่มีอายุในมหายุคพาลีโอโซอิก ได้แก่ Kariem และ Awitagoh formations โดยที่หมวดหิน Kariem ประกอบด้วยหิน slaty shales และ siltstone ส่วนหมวดหิน Awitagoh ประกอบด้วยหินปูนสีเทาดำ และหินกรวดเหลี่ยมภูเขาไฟ หินทั้งสองหมวดนี้มีอายุอยู่ในช่วง Pre- Permo-Carboniferous.

## REGIONAL GEOLOGY OF INDONESIA



ที่มา : [www.geocities.com/capecanaveral/campus/9349/geology.jpg](http://www.geocities.com/capecanaveral/campus/9349/geology.jpg)

รูปที่ 2 แผนที่ธรณีวิทยาอินโดนีเซีย

### 2) มหายุคมีโซโซอิก (Mesozoic)

หินในมหายุคมีโซโซอิก พบในบริเวณด้านตะวันตกของประเทศ บริเวณเกาะสุมาตรา ชวา และกาลีมันตัน ในบริเวณสุมาตราตะวันตกพบหินปูนยุค Permian ส่วนบริเวณด้านตะวันตกของเกาะกาลีมันตันพบหินแกรนิตยุค Jurassic ซึ่งแสดงริ้วขนาน (Foliation) อย่างชัดเจน นอกจากนี้ยังพบหินตะกอนที่มีซากดึกดำบรรพ์อายุ Jurassic ในหลายพื้นที่ และพบว่าการตกตะกอนของหินตะกอนในช่วงยุค Jurassic-Triassic เป็นไปอย่างต่อเนื่อง บริเวณด้านตะวันตกของเกาะกาลีมันตันพบหินภูเขาไฟชนิด spilite วางตัวทับอยู่บนหินตะกอนยุค Late Triassic ถึง Early Jurassic หินปูนยุค Jurassic ตอนปลายที่สะสมตัวในทะเล วางตัวต่อเนื่องกับหิน sandy turbidite และหิน calcareous mudstone ชั้นหินในมหายุคมีโซโซอิกที่พบในบริเวณต่างๆ เกาะทางด้านตะวันออกของประเทศอินโดนีเซีย แสดงร่องรอยของการเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลก โดยที่พบเศษของหินที่เป็นส่วนของภาคพื้นทวีปกับหินที่เป็นส่วนประกอบของพื้นมหาสมุทร ชั้นหินมหายุคมีโซโซอิกที่พบในบริเวณเกาะอิเรียนจาया ประกอบด้วยหินตะกอนชนิด clastic และหินคาร์บอนีตหินแกรนิต หินอัคนีชนิดอัลตาเมฟิก และหินแปร หินตะกอน

และหินคาร์บอเนต เกิดในบริเวณภาคพื้นทวีป และวางทับทั้งแบบต่อเนื่อง และไม่ต่อเนื่องกับชุดหินตะกอนที่สะสมตัวในบริเวณดินดอนสามเหลี่ยม (Deltaic sediments) มหายุคพาาลีโอโซอิก

### 3) มหายุคซีโนโซอิก

ชั้นหินในมหายุคซีโนโซอิกในอินโดนีเซีย ส่วนใหญ่เป็นตะกอนที่สะสมตัวในยุคเทอร์เชียรี และมักวางตัวอย่างไม่ต่อเนื่อง (Unconformably) อยู่บนหินพื้นฐาน (Basement) ยุคก่อนเทอร์เชียรี หินตะกอนยุคเทอร์เชียรี ส่วนใหญ่จะมีความหนาไม่แน่นอน โดยที่พบชั้นหินตะกอนที่มีความหนามากที่สุด บริเวณตอนเหนือของเกาะสุมาตรา มีความหนาประมาณ 6,000 เมตร ขณะที่บริเวณตอนกลางและตอนใต้ของแอ่งตะกอนเดียวกันมีความหนาของชั้นตะกอนที่ 3,500 และ 4,000 เมตร ตามลำดับ บริเวณพื้นที่ด้านตะวันออกของเกาะ กลิมันตัน หลุมเจาะที่ความลึก 3,500 เมตรยังคงพบชั้นตะกอนในสมัยไมโอซีน (Miocene) หรือที่มีอายุอ่อนกว่า ในแอ่งตะกอนบางแห่ง เช่น Barito Basin หินพื้นฐานอยู่ในระดับตื้นที่มีความลึกเพียง 1,200 เมตร มีโครงสร้างเป็นชั้นหินโค้งรูปประทุน (Anticline) แอ่งตะกอนยุคเทอร์เชียรีในบริเวณอินโดนีเซียตะวันออกส่วนใหญ่จะเป็นแอ่งรอยเลื่อน (Fault basin) ในบริเวณพื้นที่ด้านตะวันตกของอินโดนีเซีย แอ่งตะกอนส่วนใหญ่จะเป็นแบบ back-arc basin ซึ่งมีการสะสมตัวของตะกอนในแอ่งอย่างรวดเร็ว ในช่วงยุคเทอร์เชียรี ซึ่งตะกอนเหล่านี้จะถูกทำให้คดโค้ง (Folding) ในช่วงปลายของยุคเทอร์เชียรี แอ่งตะกอนที่เกิดในลักษณะเช่นนี้ เป็นแหล่งสะสมตัวของปิโตรเลียมที่สำคัญของอินโดนีเซีย

## 2.2 แหล่งทรัพยากรแร่ (Mineral Resources and Occurrences)

### 2.2.1 การกระจายตัวของแร่ (Mineral Distribution)

แหล่งแร่ที่พบในอินโดนีเซียมีประมาณ 541 แหล่ง กระจายตัวอยู่ใน 7 เกาะใหญ่ๆ ได้แก่ สุมาตรา ชวา กลิมันตัน นูซาเต็งการา สุลาเวสี หมู่เกาะโมลุกกะ และอิเรียนจาया โดยแหล่งแร่ในประเทศอินโดนีเซียสามารถจำแนกตามหินต้นกำเนิดได้ดังนี้ แหล่งที่เกิดในหินภูเขาไฟ (Volcanic Rock) 23.25%, หินตะกอนยุคควอเทอร์นารี (Quaternary Sediment) 22.02%, หินอัคนีแทรกซอนตั้งแต่หินชนิดกรดจนถึงหินชนิดเป็นกลาง (Acidic ถึง Intermediate Intrusive Rock) 21.84%, หินตะกอน (Sedimentary Rock) 18.51%, หินแปร (Metamorphic Rock) 5.60% และหินอัคนีแทรกซอนชนิดเมฟิกถึงอัลตราเมฟิก (Ultramafic ถึง Mafic Intrusive Rock) 6.68% ตามลำดับ รูปที่ 3 แสดงที่ตั้งของแหล่งแร่สำคัญในอินโดนีเซีย

การกระจายตัวของแหล่งแร่ในประเทศอินโดนีเซียคิดตามพื้นที่มีจำนวนร้อยละดังต่อไปนี้

อินโดนีเซียตะวันตก (%)		อินโดนีเซียตะวันออก (%)	
สุมาตรา	36.84	นูซาเต็งการา	5.94
ชวา	5.52	สุลาเวสี	11.98
กลิมันตัน	2.82	หมู่เกาะโมลุกกะ	8.65
		อิเรียนจาया	6.25

## 2.2.2 ลักษณะธรณีวิทยาแหล่งแร่ (Geology Mineral Deposit)

### 1) สุมาตรา

ลักษณะธรณีวิทยาแหล่งแร่ในบริเวณเกาะสุมาตรา เกิดจากการแปรสัณฐาน (Tectonic) 3 ช่วงดังนี้

**1.1) การแปรสัณฐานยุคครีเทเชียสตอนต้น (Early Cretaceous tectonic)** หินส่วนใหญ่เป็นหินภูเขาไฟและแหล่งแร่จะอยู่ในพื้นที่ทางทิศตะวันตกของเกาะ โดยส่วนใหญ่สายแร่จะมีทิศทางการวางตัวในแนว NW - SE และมีหินต้นกำเนิดจาก Tertiary volcanic arc zone ซึ่งมีลักษณะการเกิดแบบอุดตามรอยแตก (Fracture filling)



ที่มา : Directorate of Mineral Resources Inventory, DGGMR, MEMR, Indonesia

### รูปที่ 3 แผนที่แสดงที่ตั้งของแหล่งแร่ที่สำคัญ ๆ

**1.2) การแปรสัณฐานยุคครีเทเชียส (Cretaceous tectonic)** พื้นที่ส่วนใหญ่ของเกาะจะเป็นหินยุคครีเทเชียสตอนต้น ส่วนแหล่งแร่จะเกิดในยุคเทอร์เชียรี ซึ่งมีลักษณะการเกิดแบบฝังประในหินพอฟีร์และการแปรสภาพแบบแทนที่หรือแบบหินสการ์น แหล่งแร่ส่วนใหญ่จะสะสมตัวใน Sumatera Fault Zone

**1.3) การแปรสัณฐานยุคเพอร์เมียน-จูแรสสิก (Permian-Jurassic tectonic)** หินส่วนใหญ่จะอยู่ทางตะวันออกของเกาะสุมาตรา แหล่งแร่มีลักษณะการเกิดแบบ syngenetic ได้แก่ แหล่งแร่ ดีบุกและทังสแตน ที่เกิดในหินแกรนิต

## 2) ชาว

เกาะชวาจัดอยู่ในประเภท "Arc Island" แหล่งแร่จะสะสมตัวในระหว่างยุคเทอร์เชียรีถึงสมัยโฮโลซีน เกาะชวาประกอบด้วยหินภูเขาไฟในช่วงยุคควอเทอร์นารีจนถึงยุคเทอร์เชียรี ซึ่งหินชุดนี้มีมากอยู่ทางตอนใต้ของตัวเกาะ ด้านตะวันตกพบแหล่งแร่ตะกั่ว-สังกะสี ส่วนทางด้านตะวันออกของเกาะชวาจะพบแหล่งแร่ ทองแดง

## 3) กลิมันตัน

การเกิดของแหล่งแร่ในบริเวณเกาะกลิมันตันมีความสัมพันธ์กับการแปรสัณฐานใน 3 ช่วงเวลาดังนี้

**3.1) การแปรสัณฐานช่วงยุคจูแรสสิก-ไทรแอสสิก (Jurassic-Triassic Period)** หินส่วนใหญ่จะเป็นพวก หินอัคนีแทรกซอนชนิดเป็นกลาง ซึ่งอยู่ทางตะวันตกเฉียงใต้ของตัวเกาะ ส่วนทางตอนกลางถึงตะวันออก แหล่งแร่มีลักษณะการเกิดแบบสายแร่ และการแปรสภาพแบบแทนที่ แหล่งแร่ที่พบได้แก่ แหล่งแร่ตะกั่ว-สังกะสี และแหล่งแร่ ดีบุก-ทังสแตน

**3.2) การแปรสัณฐานช่วงยุคเพอร์เมียน (Permian Period)** ประกอบด้วยหินอัคนีแทรกซอนมีอายุแก่ที่สุดในเกาะ แต่ส่วนใหญ่แหล่งแร่จะมีอายุอยู่ในช่วงยุคครีเทเชียส-จูแรสสิก แหล่งแร่มีลักษณะการเกิดแบบสายแร่ชนิดอุดตามรอยแตก (Fracture filling) และอุดตามรอยแยก (Fissure Filling)

**3.3) การแปรสัณฐานช่วงยุคครีเทเชียส (Cretaceous Period)** แหล่งแร่ที่เกิดในหินยุคนี้ส่วนใหญ่จะมีลักษณะการเกิดแบบสายแร่ชนิดอุดตามรอยแตก และอุดตามรอยแยก โดยปกติแหล่งแร่จะสะสมตัวในหินประเภทหินอัคนีแทรกซอนชนิดเป็นกลางกับหินภูเขาไฟ แหล่งแร่ที่พบได้แก่ ปรอท พลวง บิสมัท ดีบุก และ โมลิบดีนัม

## 4) นุสาเต็งการา

ในพื้นที่ของนุสาเต็งการาประกอบไปด้วยหินภูเขาไฟชนิดหินเดไซต์ (Dacite) แอนดีไซต์ (Andesite) ยุค ควอเทอร์นารีจนถึงยุคเทอร์เชียรีและหินตะกอนยุคก่อนเทอร์เชียรี ส่วนแหล่งแร่จะมีลักษณะการเกิดแบบสายแร่ชนิดอุดตามรอยแตก และอุดตามรอยแยก

## 5) สุลาเวสี

เป็นพื้นที่ที่มีความสลับซับซ้อนมากเนื่องจากอยู่ในช่วงแนวรอยต่อระหว่าง 2 แผ่นเปลือกโลก คือ Indian Plate และ Pacific Plate ทำให้พื้นที่มีชนิดของชั้นหินที่ค่อนข้างแตกต่างกัน สามารถจำแนกเป็น 2 โซนใหญ่ๆ คือ

**5.1) โซนตะวันตก (Western zone)** ได้แก่ พื้นที่ทางภาคตะวันตก ตั้งแต่เหนือยาวต่อเนื่องจนถึงใต้สุดของตัวเกาะ ประกอบไปด้วยชุดหินที่เกิดจากการเคลื่อนตัวของ Indian Plate ส่วนใหญ่ประกอบไปด้วยหินภูเขาไฟซึ่งอยู่ในยุคควอเทอร์นารีจนถึงยุคเทอร์เชียรี และหินอัคนีแทรกซอนชนิดเป็นกลางจนถึง

ชนิดเบส ที่มีอายุอยู่ในช่วงยุคเทอร์เชียรี มักจะพบแหล่งแร่ที่มีการเกิดแบบสายแร่ชนิดอุตตามรอยแตก และอุตตามรอยแยก ซึ่งส่วนใหญ่เป็นแหล่งแร่ซัลไฟด์ของตะกั่ว และสังกะสี

**5.2) โซนตะวันออก (Eastern zone)** ได้แก่ พื้นที่ตั้งแต่เหนือจนถึงใต้สุดของฝั่งตะวันออกของตัวเกาะ สุลาเวสี ประกอบด้วยชั้นหินในยุคเทอร์เชียรีตอนต้นของ Indian Plate และชั้นหินในยุคเทอร์เชียรีตอนปลายของ Pacific Plate หินส่วนใหญ่จะเป็นพวกหินอัคนีแทรกซอนชนิดอัลตราเมฟิกและหินภูเขาไฟ ซึ่งมักพบแหล่งแร่ที่มีการเกิดแบบ syngenetic ได้แก่ แหล่งแร่โครไมต์ และนิกเกิล

## 6) หมู่เกาะโมลุกกะ

ในหมู่เกาะโมลุกกะ สามารถแบ่งชั้นหินออกได้เป็น 3 ส่วนใหญ่ๆคือ

**6.1) โซนใต้ (Southern zone)** ในหมู่เกาะทางตอนใต้ ประกอบด้วยเกาะ Buru, Seram, Banda และอื่นๆ หมู่เกาะเหล่านี้อยู่ในส่วนของชั้นหินในยุคเทอร์เชียรีตอนต้นของ Indian Plate ประกอบด้วยหินส่วนใหญ่เป็นหินภูเขาไฟ ข้อมูลเกี่ยวกับแหล่งแร่ยังมีน้อยมาก

**6.2) โซนเหนือ (Northern zone)** ในหมู่เกาะทางตอนเหนือประกอบด้วยเกาะ Halmahera, Morotai, Bacan, Ternate, Tidore, Kasiruta และ Obi หมู่เกาะเหล่านี้จะอยู่ในส่วนของชั้นหินในยุคเทอร์เชียรีตอนปลายของ Pacific Plate ซึ่งสามารถแบ่งตามชุดหินออกได้เป็น 2 ส่วนใหญ่ๆคือ

- Ophiolite Subzone พื้นที่ในส่วนนี้จะอยู่ทางตะวันออกของเกาะ Halmahera, Gebe, Gag และเกาะอื่นๆ ประกอบด้วยหินอัคนีแทรกซอนชนิดเบสเป็นส่วนใหญ่ และพบว่าแหล่งแร่จะมีลักษณะการเกิดแบบ syngenetic ได้แก่ แหล่งแร่โครไมต์ นิกเกิล และทองแดง
- Arcute Volcanic Subzone ได้แก่ พื้นที่ทางตะวันตกของหมู่เกาะ Halmahera, Morotai, Ternate, Tidore, Bacan, Kasiruta, Obi และเกาะอื่นๆ จัดเป็นส่วนต่อเนื่องของหินชุด Ophiolite Subzone ออกมาทางทิศตะวันตก ประกอบด้วยหินภูเขาไฟยุคเทอร์เชียรีจนถึงยุคปัจจุบันเป็นส่วนใหญ่ และหินยุคเทอร์เชียรีที่เป็นหินอัคนีแทรกซอนชนิดเป็นกลาง มักพบแหล่งแร่ทองแดงและแร่ทอง ที่มีลักษณะการเกิดแบบสายแร่ชนิดอุตตามรอยแตกและอุตตามรอยแยก

**6.3) โซนตะวันตก (Western zone)** ได้แก่ พื้นที่ในหมู่เกาะ Tailiabu ซึ่งมีลักษณะโครงสร้างแบบ tranform fault ในส่วนของชั้นหินประกอบด้วยหินแกรนิตและหินตะกอนยุคเพอร์เมียน แหล่งแร่ที่พบเป็นแหล่งแร่ดีบุก ที่เกิดอยู่ในหินแกรนิต

## 7) อีเรียนจายา

หมู่เกาะอีเรียนจายา ตั้งอยู่ระหว่าง Australia และ Pacific Plate จากการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกในยุคไมโอซีน (Miocene) มีผลทำให้เกิดโครงสร้างเป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ

**7.1) Southern Plain** ได้แก่ พื้นที่ทางตอนใต้ของหมู่เกาะอีเรียนจายา พื้นที่มีลักษณะเป็นที่ราบลุ่มประกอบด้วยหนองบึงต่างๆ พื้นที่ถูกรองรับด้วยหินตะกอน ซึ่งมีอายุอยู่ในช่วงมหายุคมีโซโซอิก

**7.2) Pacific Plate Margin (Irian Jaya Ophiolite)** ประกอบด้วยชุดหินอัคนีแทรกซอนชนิดเมฟิกจนถึงอัลตราเมฟิก มีอายุอยู่ในมหายุคมีโซโซอิก ซึ่งวางตัวอยู่บนชุดหินภูเขาไฟ ยุคเทอร์เชียรี

### คู่มือลงทุนเหมืองแร่อินโดนีเซีย

7.3) New Guinea Mobile Belt เป็นพื้นที่ที่อยู่ตรงกลางของเกาะอิเรียนจาया ประกอบด้วยหินตะกอนซึ่งมีอายุอยู่ในช่วงมหายุคมีโซโซอิก หินอัคนีแทรกซอนชนิดเมฟิกจนถึงอัลตราเมฟิก หินยุคเทอร์เชียรีตอนต้น และหินแปรใหม่มหายุคพาลีโอโซอิก โครงสร้างของหินเกิดการคดโค้งและรอยเลื่อน ซึ่งเป็นผลจากกิจกรรมการเคลื่อนตัวของ Australia Plate