

MODEL EVOLUSI THERMIK CEKUNGAN SEDIMEN

Oleh :
Suheimi Nurusman

INTISARI

Masalah aliran panas melalui sedimen sangat penting bagi penelitian untuk mencari minyak, karena masalah itu erat hubungannya dengan pembentukan endapan hidrokarbon.

Kematangan zat organik dalam sedimen sangat dipengaruhi oleh sejarah temperatur yang dialami oleh sedimen selama pengendapannya dalam cekungan.

Masalah aliran panas bumi yang dibahas dibagi menjadi tiga tema, yaitu model evolusi lithosphere-asthenosphere, model perpindahan panas dalam sedimen dan kontrol untuk hasil model dengan metoda geokimia.

ABSTRACT

The question of heat energy through the sediment is very important for research and for the search of oil. The organic maturity in the sediment would be influenced by the temperature history suffered by the sediment during the depositing period in the basin.

The problems of heat energy will be discussed in three models namely the lithosphere evolution model, atmosphere heat transfer in the sediment, and control of the model result with geochemical model.

PENDAHULUAN

Masalah aliran panas melalui sedimen menarik perhatian lembaga riset dan perusahaan perminyakan karena erat hubungannya dengan terjadinya minyak bumi. Kematangan zat organik yang terdapat dalam sedimen sangat dipengaruhi oleh sejarah temperatur yang dialami oleh sedimen selama pengendapannya dalam cekungan.

Untuk mengetahui perkembangan penelitian di bidang aliran panas ini, terutama yang ada sangkut pautnya dengan bidang perminyakan serta untuk dapat saling tukar menukar informasi secara langsung, maka Institut Francais du Petrole (IFP) dan Laboratoire Energetique et Phenomenes de Transfert (Bordeaux) mengorganisasi suatu kolokium internasional dengan judul "International Research Conference on Modelling Thermal Evolution of Sedimentary Basins".

Masalah yang dibahas dibagi menjadi tiga tema pokok yakni :

1. Model evolusi Lithosphere – Asthenosphere
2. Model perpindahan panas dalam sedimen
3. Kontrol untuk hasil Model dengan metode Geokimia.

I. MODEL EVOLUSI LITHOSPHERE – ASTHENOSPHERE

Untuk tema ini ingin dibahas pengaruh phenomena – dalam terhadap evolusi termik dari sedimen di dalam cekungan. Phenomena – dalam yang dimaksud adalah konveksi dari asthenosphere, penipisan lithosphere dan tektonik ekstensi, radioaktivitas di dalam kerak (crust) dan magmatisme.

JAUPART membahas elemen radioaktif (uranium, thorium dan potassium) di dalam kerak benua. Harga minimum produksi panas rata-rata $0,5 \mu W/m^3$. Menurut JAUPART, ti-

dak ada hubungan antara produksi panas (atau konsentrasi zat radioaktif) dengan berat jenis batuan.

Pembahas lainnya untuk tema pertama ini adalah LUCAZEAU, ROYDEN, CERMAK, FROIDEVAUX, MORETTI dan NEUGENBAUER.

Lucazeau membicarakan evolusi *post rift* dari Massif Central ditinjau dari aspek thermis dan thermomekanis. Karena evolusi geodinamik dari Massif Central tidak dapat diterangkan dengan model Stretching homogen dari McKenzie, diterapkan dua pendekatan. Pertama didasarkan pada model thermis yang berhubungan dengan parameter kinematika dari diapir. Pendekatan kedua, dinamika dari ketidakstabilan gravitasi pada dasar lithosphere dan evolusi dari stress dan perubahan medan yang diakibatkan oleh diapir mantel.

Suatu pendekatan sederhana dari L. Royden menyodorkan grafik-grafik yang memungkinkan orang menentukan parameter stretching δ dan β langsung dari kombinasi initial subsidence dan thermal subsidence.

Dengan menggunakan hubungan empiris antara kecepatan sismik dan produksi panas radioaktif, Cermak membuat model dua dimensi (tentu saja ditambah data aliran panas permukaan, konduktivitas panas). Profil yang diperoleh adalah profil yang melalui provinsi tektonik yang penting di Eropah (antara lain: Pannonian Basin). Hasil dari model ini adalah harga heat flow dari Moho yang tinggi (50 mW/m^2) dan temperatur Moho yang cukup tinggi ($800 - 1.000^\circ\text{C}$).

Froidevaux mempertentangkan hasil penampang COCORP di Basin and Range Province (Moho datar) dengan anomali Bouguer yang menunjukkan adanya undulasi dari Timur ke Barat dengan panjang gelombang 200 km. Jalan keluar yang diberikan adalah undulasi dari batas lithosphere - astenosphere dengan panjang gelombang 200 km dan amplitudo relatif besar.

Dengan menggunakan model thermo-mekanis secara numerik, Moretti menunjukkan secara kuantitatif penipisan lithosphere yang disebabkan oleh anomali panas yang dalam (*deep thermal anomaly*). Hasil numerik diban-

dingkan dengan data geologi untuk Baikal Rift dan Gulf of Suez.

II. MODEL PERPINDAHAN PANAS DALAM SENDIMEN

Dalam tema ini dibicarakan masalah kompaksi, evolusi porositas, sensitivitas sifat-sifat fisis dari sendimen karena perubahan temperatur dan tekanan pengaruh dari aliran air dan beberapa contoh rekonstruksi dari cekungan.

Masalah kompaksi dan hubungan porosity dengan kedalaman umpamanya dibicarakan oleh MAGARA dan DUTTA. Adanya lattice water atau air kristal dalam *shale* menurut Magara menimbulkan perbedaan hasil pengukuran dari SNP dan dari FDC. Dutta menunjukkan bahwa berat jenis dan tekanan pori-pori (*pore pressure*) dari batuan sedimen dapat dievaluasi dari sejarah pengendapan, kecepatan mengendap dan gradien geothermal. Selanjutnya ditunjukkan model transformasi *illite - smectite clay* dan penggunaan transformasi ini untuk menduga variasi *vitrite reflectance* dengan kedalaman.

RYBACH membicarakan panas yang dihasilkan oleh peluruhan zat radioaktif dalam sedimen. Konsentrasi zat radioaktif paling sedikit dalam karbonat dan paling tinggi dalam lempung hitam (*black shale*). Rumus empiris yang menyatakan produksi panas sebagai berikut :

$$A = 10^{-5} \rho \cdot [9,52 C_u + 2,56 C_{th} + 3,48 C_k]$$

ρ = density
 C_u, C_{th}, C_k = Konsentrasi uranium, thorium, kalium

Ada alat logging baru untuk mengukur ketiga konsentrasi ini dalam sedimen: NGS (Natural Gamma Spectroscopy).

Percobaan laboratorium untuk mempelajari konduktivitas thermik dan permeabilitas dari sedimen laut - dalam dengan kondisi in situ, tekanan, temperatur dan porositas dikemukakan oleh SILVA. Alat ini dapat memvariasi tekanan antara tekanan atmosfer dan 62 M Pa serta temperatur 22°C sampai 220°C . Hasilnya: Permeabilitas relative tidak tergantung kepada tekanan hidrostatik dan temperatur

tetapi sensitive terhadap porositas. Konduktivitas panas bervariasi terhadap perubahan tekanan, temperatur dan porositas.

PALCIAUSCAS mengemukakan model teoritis untuk menghitung konduktivitas panas efektif (Hal yang identik untuk permeabilitas). Untuk dapat menghitung konduktivitas panas dari suatu batuan diperlukan informasi mengenai mineralogi dari batuan tersebut, dan volume tiap-tiap fraksinya. Umumnya batuan terdiri dari quartz - feldspar, lempung dan air. Kalau porositas kita sebut φ , maka bagian yang tidak diisi oleh butir besar φ_c , bagian yang tidak diisi oleh butir halus (lempung) φ_f , maka fraksi butir besar quartz - feldspar = $1 - \varphi_c$, fraksi butir halus $\varphi_c - \varphi_f$ dan fraksi air = φ_f . Kalau besaran konduktivitas panas untuk quartz, feldspar, clay dan air diketahui, maka konduktivitas panas efektif dari batuan dapat dicari.

Model thermis (dua dimensi) dengan memperhitungkan konveksi (di samping konduksi) dan pengaruh sedimentasi untuk stretching kerak dan subsidence di basin North Sea dikemukakan oleh ALVAREZ.

Dengan menggunakan metoda elemen fini (*finite element*) BERTHELOT menunjukkan karakter temperatur dan aliran panas secara dua dimensi dari Gulf of Suez. Seperti diketahui di Gulf of Suez tektonik ekstensi dari basement dan tektonik garam berkembang baik. Ini memberikan efek refraksi panas yang sangat berarti.

Adanya air dan sifat permeabilitas dari sedimen memungkinkan adanya panas yang dibawa oleh air (konveksi). Konveksi ini dapat bersifat bebas (karena perbedaan temperatur menyebabkan perbedaan ΔD) atau bersifat terpaksa (perbedaan tekanan).

Untuk konveksi bebas, QUINTARD mempelajari dengan model numerik dan mengaplikasikannya untuk Delta Mahakam.

GOLBET mengingatkan bahwa dalam memasukkan faktor sirkulasi air dalam model geothermis supaya memperhatikan kemungkinan adanya anomali sirkulasi air dalam cekungan sedimen. Beberapa contoh diberikan antara lain basin Arcachon (dekat Bordeaux), Senegal, Nord Belgique dan lain-lain.

Model dua dimensi dengan memperhitungkan konveksi dikemukakan oleh LUHESHI. Dengan model ini, dapat dianalisa sensitivitas heat flow terhadap perubahan porosity, konduktivitas panas, permeabilitas dan geometri dari model. Juga dapat dikuantifikasikan refraksi panas dan panas yang dikonveksikan. Menurut analisa Luheshi, aliran panas di Alberta didominasi oleh konveksi.

Bagaimana kelakuan aliran air dan perpindahan panas dalam sedimen dipelajari DOLIGEZ beserta groupnya dari IFP. Aliran air diramalkan berdasarkan hukum Darcy. Transformasi panas dihitung dengan mengasumsikan konduktivitas panas, konveksi terpaksa dan adveksi. Model ini dipakai BURUS dalam mempelajari evolusi termik dari Provencal Basin. Burus mempelajari lebih lanjut basin ini dengan menggunakan data magnetik, gravitasi dan lain-lain.

Menurut GOSNOLD studi aliran panas di cekungan sedimen dapat memberikan informasi mengenai adanya dan keadaan dari sumber geothermal, kematangan batuan induk dan migrasi kedua dari minyak bumi. Basin Denver dan basin Willison dijadikan sebagai studi kasus.

Efek dari gerakan fluida (air) yang dihasilkan oleh kompaksi dibandingkan perpindahan panas yang disebabkan konduksi adalah sangat kecil, demikian kesimpulan dari HERMANRUD. Jadi pengaruh terhadap pembentukan minyak bumi juga minor.

OXBURG menunjukkan untuk basin Alberta dan basin di Laut Utara adanya variasi *heat flow* yang berarti secara lateral dan variasinya terhadap kedalaman. Ini disebabkan oleh sirkulasi air (di tempat yang dalam). Kalau sirkulasi ini terjadi sepanjang sejarah cekungan sedimen maka efeknya terhadap pembentukan minyak bumi (karena proses konveksi akan mempengaruhi temperatur) cukup besar.

Oxburg juga membicarakan peranan isotop Helium dalam sistem geothermis. Dari pengukuran-pengukuran perbandingan $^3\text{He}/^4\text{He}$, di daerah continental menunjukkan harga yang rendah, sedangkan untuk ocean ridge memberikan harga yang tinggi.

Model komputer satu dimensi dipakai oleh

HORVATH dkk. untuk membuat simulasi subsidence dan sejarah thermis dari basin Pannonian. Kematangan thermis zat organik dihitung dengan metoda Lopatin.

Dengan menggunakan delapan sumur (kedalaman 1792 – 5865 m) dikonstruksi hubungan *Time – Temperature Index* dengan *vitroinite reflectance* (R_o) kemudian hubungan ini dipakai untuk merekonstruksi sejarah kematangan batuan induk di basin. Model yang dikemukakan oleh Horvath ini disebut MISS BASIN (*maturity Interpretation System for Sedimentary Basin*).

HUTCHISON menghitung efek sedimentasi dengan menggunakan model satu dimensi dengan memasukkan variabel-variabel fisis: kompaksi, adveksi dari cairan dalam pori, kecepatan sedimentasi dan temperatur dasar laut. Model dua dimensi dipakai untuk menerangkan refraksi. Jika kedua faktor ini masih belum cukup menerangkan keanehan pengukuran perlu diperhitungkan sirkulasi hidrothermal di dalam basement oceanik.

Pengaruh parameter kerak (*crust*) dan lithosphere terhadap rekonstruksi panas yang didasarkan pada model McKenzie dikemukakan LE DOUARAN dengan hasil kenaikan 45% HF disebabkan densiti kerak dinaikkan 3% atau ketebalan kerak setelah *rifting* berkurang 20% atau suhu dasar lithosphere dinaikkan 35%.

Modal numerik dua dimensi dari LUCA-ZEAU didasarkan pada asumsi fisik dari McKenzie dengan memasukkan pengaruh sedimentasi kompaksi dari sedimen terhadap pendinginan lithosphere. Karena model dua dimensi, perpindahan panas secara lateral juga masuk dalam perhitungan ini dan untuk selanjutnya dihitung juga pengaruh perpindahan panas secara konveksi serta sumber panas radiaktif dalam sedimen. Sebagai keluaran (*output*) dari model ini adalah distribusi temperatur pada setiap waktu, aliran panas permukaan, subsidence permukaan sedimen, subsidence basement (kalau sedimen ditiadakan). Dengan mengintegrasikan efek dari kontras densiti tiap elemen, dapat dihitung anomali Bouguer, udara bebas (*free air*) dan geoid. Harga-harga ini nantinya dapat dibandingkan dengan harga pengamatan untuk menguji model yang dipilih.

III. KONTROL TERHADAP HASIL MODEL DENGAN METODA GEOKIMIA.

Dalam pengerjaan modal aliran panas dalam sedimen yang ditujukan untuk perminyakan selalu dicari paleo-temperatur yang dikemudian dipakai untuk mengetahui kematangan zat organik dalam sedimen dengan menghitung *vitroinite reflectance*. Harga ini nanti dibandingkan dengan harga yang diperoleh dari pengamatan terhadap sampel sedimen dari sumuran. Kalau terdapat kesesuaian maka dianggap model yang dibuat mendekati kebenaran. Menurut DURAND masalahnya tidaklah semudah itu. Kita harus memahami prosedur pengukuran perbandingan cahaya yang dipantulkan (*reflection*) dan cahaya masuk (sinar *monochromatic* dengan panjang gelombang 546 nm – sinar hijau). Paling kurang dibutuhkan 100 pengukuran dan ini akan menghasilkan suatu histogram yang memerlukan penafsiran.

ESPITALIE menggunakan T_{max} sebagai *index maturasi* untuk berbagai tipe dari zat organik. T_{max} didefinisikan sebagai temperatur *pyrolysis* pada saat jumlah maksimum ikatan hidrokarbon yang berasal dari degradasi thermis dari kerogen dibebaskan. Zat organik yang berasal dari danau disebut type I, dari marin type II dan dari continental type III. Epitalie akhirnya mengajukan suatu skala hubungan antara T_{max} dan berbagai tingkatan dari pembentukan minyak dan gas bumi untuk setiap type dari tiga type utama zat organik.

Parameter untuk menentukan kematangan zat organik seperti *vitroinite reflectance* (R_o), temperatur maksimum T_{max} , *the thermal alteration index* atau *the spore coloration index* (SCI) digunakan terhadap sampel dari Viking Craben oleh BROSS. Sampel dikirim kepada beberapa laboratorium yang berbeda dan hasilnya dibandingkan satu dengan lainnya. Sensitivitas tiap parameter terhadap type zat organik yang berbeda dapat dipelajari.

Penggunaan model kinetik untuk rekonstruksi paleotemperatur dan untuk kalibrasi parameter kinetis dari tiap type zat organik dikemukakan oleh UNGERER. Model kinetik yang dibahas berdasarkan beberapa reaksi paralel orde pertama yang mengikuti hukum

Arrhenius. Mula-mula kalibrasi dilakukan terhadap data pyrolysis saja, kemudian dicek validitas dari metoda ini dengan data lapangan (delta Mahakam Indonesia).

Dengan membandingkan data geokimia (seperti Tmax dan Hidrocarbon index yang diukur dengan peralatan Rock Eval) dan hasil dari model kinetik, menurut Ungerer dapat diperkirakan berapa temperatur maksimum yang pernah dialami oleh sedimen.

SWEENEY memulai pembicaraannya dengan pertanyaan dapatkah data kematangan hidrokarbon digunakan untuk memahami sejarah thermis dari cekungan sedimen. Laboratorium Nasional Lawrence Livermore telah bertahun-tahun melaksanakan eksperimen pyrolysis oil shale dari Green River (type I kerogen).

Model komputer telah dibuat untuk menentukan komposisi padat, cair dan gas dari hidrokarbon sebagai fungsi dari kecepatan pemanasan (heat rates) dan temperatur di dalam sample oil shale.

Evolusi thermis dari Uinta Basin dipelajari dengan model thermis dari basin dan model pyrolysis. Kecocokan diperoleh antara data dari basin yang berproduksi atau tidak berproduksi dengan hasil perhitungan kombinasi kedua model tersebut di atas.

Serentetan model dipakai BROSS dan BOTNIEVA untuk Pripyat Basin, guna merekonstruksi, evolusi subsidence, model geodinamik untuk sejarah thermis, model perpindahan panas dalam sedimen untuk mengetahui temperatur batuan induk dan akhirnya model kinetik untuk mengetahui waktu terbentuknya minyak bumi. Hasil yang dihitung oleh model dibandingkan dengan data geokimia (pyrolysis dengan Rock-Eval dan *algal material fluorescence*).

NUNN mengemukakan sejarah subsidence, evolusi thermis dan pembentukan petroleum di basin Michigan. Evolusi mekanis dari basin Michigan digambarkan sebagai kelenturan lithosphere akibat kontraksi thermis.

Fluid inclusions diartikan cairan dan atau gas yang berada dalam rongga sedimen yang berukuran 5 – 20 mikrometer. Dalam rongga ini bisa terdapat air beserta gelembung udara atau uap, bisa juga air, CO₂ cair dan CO₂ gas,

atau air dengan minyak. PAGEL mengemukakan bahwa :

1. sifat kimia dari *fluid inclusions* ini mewakili sifat kimia lingkungannya,
2. tidak ada perubahan kimia sejak terperangkapnya fluida ini dan
3. tidak ada perubahan volume sejak masa terperangkap.

Dengan mempelajari fluid inclusions ini dapat diketahui sementara dari pelarutan dalam reservoir, waktu migrasi hidrokarbon, variasi regional gradient thermik fungsi dari waktu dan tempat. Alat untuk mempelajari fluid inclusions ini antara lain mikroskop (type, ukuran, morfologi, frekwensi dan posisi), U-V fluorescence (mengetahui adanya hidrokarbon), mikrothermometer, gas chromatografi, mass spectrometre dan infrared spektrometri. Untuk pemeriksaan satu sample, tenaga terlatih memerlukan waktu tiga hari.

Pembicaraan terakhir PHELPS mengemukakan perbandingan ⁴⁰Ar/³⁹Ar – *thermochronology* pada *potassium Feldspars* untuk mempelajari cekungan sedimen. Sampel dari bagian selatan Viking Graben dipakai untuk analisa sejarah thermis. Kehilangan mutakhir dari ⁴⁰Ar radioaktif (2 – 3%) dideteksi pada sampel yang terpanas (temperatur sampel antara 68°C – 115°C). Dengan menggunakan metoda Harrison and Be (1983) dan Harrison and Mc Dougall (1982), diperoleh harga energi aktivasi sebesar 36 kcal/mol. Dengan energi ini, jumlah kehilangan Ar seperti yang diamati, terjadi hanya dalam 2 atau 3 juta tahun pada suhu saat sekarang 115°C.

Sejarah temperatur dari sampel yang sama dapat dipelajari dengan menggunakan teknik *backstripping-standard*. Sejarah *thermis* yang dihitung dengan metoda ini menunjukkan kenaikan temperatur secara cepat selama 5 juta tahun terakhir, dan ini cocok dengan harga yang dihitung secara terpisah dengan metoda ⁴⁰Ar/³⁹Ar.

IV. KESIMPULAN

1. Berbagai masalah selama ini, sebagian besar pendekatan masalah yang ada hubungannya dengan aliran panas dalam sedimen serta masalah kematangan zat organik untuk berubah menjadi minyak bumi dilakukan dengan

membuat model numerik. Dalam hal ini pemakaian metoda "finite element" dan "difference element" serta penggunaan komputer sudah merupakan keharusan. Ini tidak berarti bahwa model menyelesaikan masalah secara tuntas. Model hanya membantu untuk memahami masalah alamiah yang kompleks itu. Dengan model dapat diketahui parameter apa yang memainkan peranan yang lebih penting dalam menghitung aliran panas umpamanya. Dengan model dapat pula kita hitung besaran-besaran tertentu secara teoritis (*numerik*) yang nantinya dapat dibandingkan dengan hasil pengamatan.

2. Apa yang ditulis di atas baru merupakan garis besar, mungkin malah tidak lengkap, tapi sekurang-kurangnya didapat gambaran tentang aktivitas riset dalam masalah aliran panas pada saat ini.

3. Dapat dilihat bahwa riset aliran panas merupakan riset interdisiplin sehingga sering dilakukan secara bersama (*group* atau *team*). Kerja sama ahli geologi, geofisika, fisika dan

komputer sangat membantu untuk menghasilkan model yang baik untuk aliran panas di dalam sedimen.

Institut Francais du Petrole (IFP) sering menggunakan daerah Delta Mahakam atau lapangan Handil dalam contoh pemakaian model-model mereka. Di sini dapat lihat adanya kerja sama yang intim antara perusahaan (industri) minyak dengan lembaga riset di luar perusahaan tersebut.

Akhirnya, dewasa ini terasa adanya beberapa kemajuan di bidang riset aliran panas, tetapi lebih disadari lagi kekurangan data yang dapat menunjang model serta masih belum sempurnanya model-model yang dikemukakan dan bagaimana dengan model tiga dimensi.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih disampaikan kepada Prof. G. Pascal, Kepala Laboratorium Geofisika Marin — Universite de Bretagne Occidentale — Brest yang telah memberi kesempatan dan mengusahakan pembiayaan untuk kami dapat mengikuti seminar ini.

DAFTAR PUSTAKA

ALVAREZ, F.

Thermal Modelisation of Cristal Stretching and Subsidence in the North Sea Basin.

BERTHELOT, F.

Effects of Basement Discontinuities and of a Salt Tectonics on the Field Temperature Distribution, Application to the Gulf of Suez.

BROSSE, E. and A. Y. HUC

Organic parameters as Indicators of Thermal Evolution in the Viking Graben.

BROSSE, E., G. DEROO and P. A. BOTNIEVA

Organic Geochemistry as a Test of Validity for the Results of a Modelisation in the Pripyat Basin (Bielorussia).

BURRUS, J., and F. BESSIS

Thermal Evolution of the Provençal Basin (NW Mediterranean)

CERMAK, V.

Temperature structure of the Lithosphere Based on 2-D Temperature Modelling (Applied to Central and Eastern Europe).

DOLIGEZ, B., F. BESSIS, Ph. UNGERER, J. BURRUS and P.Y. CHENET

Modelling of the Water-Flow and Heat Transfer in a Sedimentary Basin, Principle, and Practical Examples.

DURAND, B.

Use of Vitrinite Reflectance as a Control of Thermal History of Sediments.

- DUTTA, N. C.**
Shale Compaction, Burial Diagenesis and Geopressures in the Gulf Coast Geosyncline: A Dynamic Model, Solution and Some Results.
- ESPITALIE, J.**
Use of Tmax as a Maturation Index for Different Types of Organic Matter Comparison with Vitrinite Reflectance.
- FROIDEVAUX, C. and Y. RICARD**
Mechanisms of Extensional Tectonics in the Basin and Range Province.
- GOBLET, P., E. LEDOUX and G. MARSILY**
Possibilities of Anomalous Circulation in Sedimentary Basins : Some Examples.
- GOSNOLD, W. D.**
Heat Flow Studies in Sedimentary Basins.
- HERMANRUD, C.**
On the Importance to Petroleum Generation of Heat Transfer due to Compaction-Related Fluid Convection in a Sedimentary Basin : An Example from the Northern North Sea.
- HORVATH, F., A. SZALAY, P. DOVENYI and J. RUMPLER**
Structural and Thermal Evolution of the Pannonian Basin.
- HUTCHISON, I.**
Numerical Modelling of Oceanic Heat Flow - A Western Mediterranean case Study.
- JAUPART, C.**
On the Average Concentration and Vertical Distribution of Radiogenic Elements in the Continental Crust.
- LE DOUARAN, S.**
Influence of Some Crustal and Lithospheric Parameters on Thermal Reconstruction Made Using McKenzie Type Thinning Models.
- LUCAZEAU, F. and S. LE DOUARAN**
A 2 - D Numerical Model for Extensional Basins Example of the Provencal Basin.
- LUCAZEAU, F. and J. P. VILOTTE**
The Post Rift Evolution of the Massif Central (France) : Thermal and Thermo-mechanical Aspects.
- LUHESHI, M. N.**
Conductive and Convective Heat Transfer in Sedimentary Basins.
- MAGARA, K.**
Porosity - Depth Relationship During Compaction in Hydrostatic and Non - Hydrostatic Cases.
- MORETTI, I.**
Lithospheric Thinning and Extensional Tectonic.
- NEUGEBAUER, H. J.**
Thermal and Dynamical Aspects of Basin Formation.
- NUNN, J. A.**
Subsidence History, Thermal Evolution and Petroleum Generation in the Michigan Basins.
- OXBURGH, E. R.**
Convective Thermal Effects on the Maturation Histories of Sedimentary Basins.
- PAGEL, M., F. WALGENWITZ and J. DUBBESSY**
Fluid Inclusions in Oil and Gas Sedimentary Formations.
- PALCIAUSKAS, V. V.**
Heat Transport in Normally Compacting Basins : Theoretical Models for Conductivity and Permeability.
- PHELPS, D. W.**
Application of $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Thermochronology on Detrital Potassium Feldspars to the Study of Sedimentary Basins.
- QUINTARD, M. and D. BERNARD**
Free Convection in Sediments : Numerical Modelling in Time and Space Scales.
- RICARD, Y., C. FROIDEVAUX and L. FLEITOUT**
Lithospheric Stretching Instabilities Under Gravity. A Model for Basin and Range Tectonics.
- ROYDEN, L.**
A Simple Graphical Approach to Analyzing Extension Subsidence and Heat Flow in Rifted Basins : Examples from Europe, Africa and North America.

RYBACH, L

Amount and Significance of Radioactive Heat Sources in Sediments.

SILVA, A. J.

The Sensitivity of Sediment Physical Properties to Changes in Temperature, Pressure and Porosity.

SWEENEY, L. L., A. K. BURNHAM and B. BRAUN

Thermal Evolution of the UINTA Basin, Utah, USA, and Predictions of Type I Kerogen Evolution Based on Pyrolysis of Oil Shale.

UNGERER, Ph., J. ESPITALIE, F. MARQUIS and B. DURAND

Use of Kinetic Models of Organic Matter Evolution for the Reconstruction of Paleotemperatures. Application to the Case of Gironville Well (France).

SAFE SOUND
PROTECTED FROM RISKS
TPI MAKES SURE YOUR
BUSINESS STAYS THAT WAY
FIND OUT WHAT INSURANCE
POLICIES YOU REQUIRE
GET IN TOUCH WITH



**P.T. TUGU PRATAMA INDONESIA
GENERAL INSURANCE**

GEDUNG PATRA, 1ST FLOOR
JALAN GATOT SUBROTO KAV. 32 - 34
JAKARTA SELATAN
INDONESIA

TELEX : 44699 - 45337 GUTAMA IA
TELEPHONE : 512041, 512293, 512468, 512654



ELNUSA

A SUBSIDIARI OF PERTAMINA

JL. S. PARMAN 105 - JAKARTA/11440. PO. BOX 234/JKT - 10002
CABLE; ELNUSA JAKARTA INDONESIA,
PHONE; 596411 JAKARTA TELEX; 44337.

• DATA SERVICES.

DATA PROCESSING SERVICES

- Seismic Processing
- Log Data Processing
- Geological Interpretation
- Word Data Processing

DATA ACQUISITION SERVICES

- Seismic Survey
- Wire Line Logging
- Mud Logging

INFORMATION SERVICES

- Drilling Maintenance- Information System
- Micro film filing System
- Exploration & Production- Report
- Business Directory

**• TELECOMMUNICATION,
LOGISTIC & OILFIELD SERVICES**

- Installation, Operation, Maintenance of Radio Communication System
- HF, VHF, UHF, Satellite, Monitoring System & Radio Control, Fixed Positioning.
- Supply Base & Logistic Services- for Oil Industry
- Hydraulic Workover Services
- Wireline & Production Test Services
- Coil Tubing & Nitrogen Services
- Cementing Services.

• TRADING.

- Navigation & Telecommunication Motorola, Raytheon, Marconi, King Radio.
- Petroleum Equipment Baker Lift System, Irco, Rexnord, Fuji, Wallace & Tiernan, Rochester, WIKA
- Chemicals & Steel EN - CEMLINK, Oilwell Cement, Explosive, Tubular/Casing, Machinaries.
- Computer.
- General Automation, Summagraphic, ELNUSA Computers.