

## Analisis Kebutuhan Bahan Ajar Matematika Berbasis Problem Based Learning (PBL) Kelas IV Studi Kasus: SD Muhammadiyah Pataan

Aulia Fonda<sup>1</sup>, Izza Eka Ningrum<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universitas Islam Mulia Yogyakarta

<sup>2</sup>Universitas Muhammadiyah Lamongan

E-mail: [auliafonda@gmail.com](mailto:auliafonda@gmail.com), 089507150559

### History of Article

**Abstract:** Math is still considered difficult for students at the elementary school level. Mathematics can be associated with concrete materials through appropriate teaching materials. Teaching materials developed must pay attention to the involvement of the students in finding concepts and must be innovative. The purpose of this study was to analyze the needs of students related to teaching materials based on Problem-Based Learning (PBL) to improve student learning outcomes. The research method used is descriptive qualitative, data were collected from 28 fourth-grade students at SD Muhammadiyah Pataan. The results showed that student learning outcomes were low, students were less interested in mathematics lessons, the available teaching materials were insufficient to be used, and more than 80% of students expressed interest in PBL-based teaching materials.

**Keyword:** Teaching materials, Mathematics, Problem Based Learning, Elementary School

**Abstrak:** Matematika masih dianggap sulit bagi peserta didik pada jenjang sekolah dasar. Matematika dapat dikaitkan dengan materi yang konkrit melalui bahan ajar yang tepat. Bahan ajar dikembangkan haruslah memperhatikan keterlibatan peran peserta didik dalam menemukan konsep dan harus inovatif. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis kebutuhan peserta didik yang berkaitan dengan bahan ajar yang berbasis *Problem Based Learning* (PBL) untuk meningkatkan hasil belajar peserta didik. Metode penelitian yang digunakan adalah kualitatif deskriptif, pengambilan data dilakukan di SD Muhammadiyah Pataan pada peserta didik kelas IV sebanyak 28 orang. Hasil penelitian menunjukkan hasil belajar siswa rendah, siswa kurang tertarik dengan Pelajaran matematika, bahan ajar yang tersedia kurang memadai untuk dapat digunakan, terdapat lebih dari 80% siswa menyatakan tertarik dengan bahan ajar berbasis PBL.

**Kata Kunci:** Bahan ajar, Matematika, *Problem Based Learning*, Sekolah Dasar

## PENDAHULUAN

Sekolah dasar merupakan langkah yang harus dilalui oleh peserta didik sebelum menempuh jenjang pendidikan selanjutnya. Proses pembelajaran yang dilakukan di sekolah dasar, menjadi fondasi atau dasar ilmu pengetahuan bagi peserta didik. Namun, pada proses pembelajaran banyak ditemukan siswa kurang dapat memahami materi dengan baik terutama pada pelajaran matematika. Menurut Wati et al. (2021) matematika masih dianggap pembelajaran yang terfokus pada angka dan simbol, serta tidak memberikan makna pembelajaran yang berkaitan dengan kehidupan sehari-hari, sehingga peserta didik merasa kesulitan dalam belajar matematika. Menurut Indofah & Hasanudin (2023) dan Fitriana & Aprilia (2021), matematika menjadi pelajaran yang dianggap menakutkan, tidak menarik, dan membosankan bagi peserta didik, ditunjukkan dengan rendahnya prestasi belajar peserta didik dalam pelajaran matematika.

berdasarkan Peraturan Menteri Pendidikan RI no.11 (2005) menjabarkan buku acuan wajib yang digunakan sekolah harus dapat membuat materi untuk meningkatkan keimanan dan ketakwaan, budi pekerti dan kepribadian, kemampuan penguasaan ilmu pengetahuan dan teknologi, serta potensi fisik dan kesehatan

yang disusun berdasarkan Standar Nasional Pendidikan. Penggunaan bahan ajar yang tepat dapat meningkatkan minat belajar dan mengasah proses berpikir peserta didik (Nurdin et al., 2023). Menurut Indrawini et al. (2017) bahan ajar dapat menentukan keberhasilan pembelajaran. Bahan ajar yang dikembangkan harus memperhatikan keterlibatan peran peserta didik dalam menemukan konsep dan harus inovatif agar tersimpan lebih lama dalam ingatan.

Model pembelajaran yang tepat dapat meningkatkan cara berpikir kritis, salah satu model pembelajaran yang mendukung proses berpikir kritis peserta didik adalah model *Problem Based Learning* (PBL) (Nofziarni et al., 2019; Devirita et al., 2021). PBL memberikan cara belajar yang bermakna melalui inovasi dalam pembelajaran, siswa juga dapat mengoptimalkan pengembangan kemampuan berpikir kritis melalui pemberdayaan masalah serta mengujinya (Novianti et al., 2020).

Kebutuhan materi pengajaran matematika berbasis Problem-Based Learning (PBL) untuk Kelas IV SD Muhammadiyah Pataan digarisbawahi oleh beberapa penelitian terdahulu yang menyoroti manfaat dan efektivitas pendekatan tersebut. Penelitian menunjukkan bahwa bahan ajar tradisional sering gagal mengembangkan

keterampilan pemecahan masalah peserta didik, yang memerlukan integrasi PBL untuk meningkatkan pemikiran kritis dan hasil belajar (Puspitasari & Suparman, 2018). Pengembangan materi PBL, seperti lembar kerja siswa, telah terbukti valid dan praktis, dengan skor validasi tinggi dalam konten, bahasa, dan komponen presentasi, menunjukkan efektivitasnya dalam meningkatkan pola berpikir kritis siswa (Risandi, 2021). Selanjutnya, penelitian tindakan kelas menunjukkan bahwa model PBL secara signifikan meningkatkan hasil pembelajaran matematika, sebagaimana dibuktikan dengan peningkatan skor rata-rata dan persentase pembelajaran penguasaan dalam siklus berturut-turut (Wicahyani & Mukhlisina, 2023). Demikian pula, penelitian lain menemukan bahwa PBL tidak hanya meningkatkan keterampilan berpikir kritis tetapi juga meningkatkan hasil pembelajaran matematika, dengan peningkatan signifikan dalam jumlah siswa yang mencapai keterampilan berpikir kritis yang tinggi dan menyelesaikan tujuan belajar (Dahlgren et al., 1998; Aziz & Koeswanti, 2024). Temuan ini secara kolektif menunjukkan bahwa penerapan materi pengajaran berbasis PBL dalam matematika untuk siswa Kelas IV di SD Muhammadiyah Pataan dapat mengatasi tantangan pendidikan yang ada dengan

menumbuhkan keterampilan analitis yang lebih baik dan meningkatkan kinerja akademik secara keseluruhan.

## METODE

Peneliti menggunakan metode kualitatif deskriptif. Menurut Yakin (2023), Pendekatan naturalistik digunakan pada penelitian kualitatif untuk memahami sesuai konteks penelitian. Penelitian yang dilakukan lebih berfokus pada pemilihan informasi. Informasi yang dimaksud berupa sumber data yang diperoleh peneliti, pengumpulan data dari hasil penelitian, menelaah data, serta membuat Kesimpulan. Secara keseluruhan data diperoleh digunakan untuk mendeskripsikan kebutuhan pendekatan *Problem Based Learning* (PBL) dalam meningkatkan hasil belajar. Penelitian dilakukan pada bulan Maret 2024 di SD Muhammadiyah Pataan pada semester genap tahun ajaran 2023/2024. Subjek analisis kebutuhan merupakan peserta didik kelas IV sebanyak 28 orang dengan menganalisis hasil belajar berupa nilai ulangan dan penyebaran angket digunakan sebagai instrument penelitian untuk studi pendahuluan kebutuhan peserta didik. Analisis kebutuhan digunakan peneliti sebagai pengukur kebutuhan pada pembelajaran matematika dengan

mengkaitkan PBL dalam bentuk bahan ajar.

Menurut Huberman & Miles (1992), pendekatan analisis dilakukan melalui beberapa tahap yaitu reduksi data, penyajian, verifikasi serta pengambilan kesimpulan. Pendekatan analisis ini dapat diadopsi ke dalam metode analisis dalam studi ini. Beberapa Langkah yang dilakukan yaitu tahap reduksi data digunakan untuk menyaring data, menyederhanakan data, serta memusatkan perhatian pada data yang relevan dengan penelitian. Pada penelitian ini, tahap reduksi berupa menyebarkan angket dan soal ulangan pada peserta didik kelas IV SD Muhammadiyah Pataan, isi angket berkaitan dengan analisis kebutuhan peserta didik terhadap bahan ajar berbasis PBL. tahap selanjutnya yaitu penyajian data. Pada tahap ini berfokus pada menyusun hasil reduksi ke dalam tabel atau grafik atau narasi deskriptif. Peneliti menyajikan hasil angket dan nilai ulangan peserta didik yang sudah diambil untuk diolah menjadi tabel. Langkah terakhir yaitu verifikasi dan Kesimpulan. Peneliti memverifikasi data tersebut kemudian mengambil Kesimpulan yang mencakup hasil analisis kebutuhan terkait bahan ajar yang berbasis PBL sebagai alat yang dapat meningkatkan hasil belajar kelas IV di SD Muhammadiyah Pataan.

## HASIL

**Tabel 1. Hasil Angket dengan Peserta Didik**

No	Pertanyaan	Jawaban	
		YA	TIDAK
1	Apakah anda menyukai pembelajaran matematika	7%	93%
2	Apakah materi matematika mudah anda pahami	19%	81%
3	Saya langsung mengerjakan apabila diberi tugas oleh guru	16%	84%
4	Apakah anda tertarik dengan bahan ajar (LKPD) berbasis PBL	81%	19%

**Tabel 2. Hasil Belajar Peserta Didik**

Interval	Frekuensi	Persentase
26-32	2	7,2%
33-39	3	10,4%
40-46	4	14,2%
47-53	9	32,2%
54-60	8	28,8%
61-67	2	7,2%

Total	28	100%
-------	----	------

## PEMBAHASAN

Berdasarkan tabel 1, hasil analisis respon peserta didik mengenai pembelajaran matematika terdapat 93% yang tidak menyukai pembelajaran matematika, dan hanya 7% saja yang menyukai pembelajaran matematika. Untuk respon peserta didik pada pertanyaan ke dua terkait pelajaran matematika, diperoleh hasil 81% “matematika tidak mudah” bagi peserta didik sedangkan 19% lainnya “matematika itu mudah”. Untuk pernyataan yang ke tiga terkait dengan keaktifan peserta didik dalam menyelesaikan tugas yang diberikan oleh pendidik, hasil analisis peserta didik diperoleh 16% menyelesaikan tugas matematika secara langsung, namun sebanyak 84% peserta didik menunda untuk menyelesaikan. Peneliti menganalisis respon angket peserta didik mengenai ketertarikan peserta didik dengan penggunaan bahan ajar berupa LKPD, diperoleh hasil 81% peserta didik tertarik sedangkan 19% tidak tertarik dengan LKPD.

Dari hasil angket yang telah disebarkan, serta memperhatikan hasil belajar peserta didik, dapat dikelompokkan menjadi beberapa penjabaran yang

berkaitan dengan kegiatan analisis yang sudah terlaksana yaitu penelitian mendalami terkait analisis kebutuhan, menganalisis kurikulum yang digunakan, menganalisis kebutuhan materi, dan menganalisis peserta didik. Berikut ini penjabaran analisis tersebut.

### 1. Analisis Kebutuhan

Analisis kebutuhan digunakan untuk menganalisis pendekatan pembelajaran sesuai dengan kebutuhan di sekolah. Tahap ini, pengamatan dilakukan untuk melihat kebutuhan peserta didik selama pembelajaran berlangsung. Bahan ajar yang tersedia di SD Muhammadiyah Pataan kurang memadai untuk peserta didik dalam meningkatkan hasil belajar. Dengan kurikulum yang baru, peserta didik diberi kebebasan menggunakan sumber belajar darimana saja, namun pada kenyataannya peserta didik tidak memiliki pegangan yang pasti untuk belajar. Belum ada guru yang mendesain bahan ajar yang disesuaikan dengan kebutuhan peserta didik salah satunya berbasis PBL, sehingga menyebabkan kurang aktifnya peserta didik dan fokusnya untuk mendengarkan penjelasan dari guru saja. Guru dan peserta didik bergantung dengan buku yang disediakan oleh sekolah. Bahan ajar yang digunakan oleh sekolah terbatas dengan penjabaran materi dan latihan soal singkat (Ariso et al., 2023).

Berdasarkan angket yang dibagikan, peserta didik cukup tertarik dengan adanya bahan ajar yang baru yang dapat menjadi fasilitas dan patokan selama proses pembelajaran. Hasil analisis angket menunjukkan 81% “tertarik” apabila pembelajaran matematika menggunakan bahan ajar yang dikaitkan dengan PBL. Dengan pendekatan PBL, kedepannya cara beripikir peserta didik lebih kritis dalam menyelesaikan masalah dan meningkatkan hasil belajar melalui pembelajaran yang bermakna.

## 2. Analisis Kurikulum

Analisis kurikulum merupakan salah satu cara untuk mengetahui kurikulum yang sekolah gunakan. Bahan ajar yang akan dibuat harus disesuaikan dengan kurikulum yang sedang digunakan agar dapat sejalan dengan penjian yang dipaparkan di sekolah oleh pendidik. Berdasarkan hasil observasi yang dilakukan oleh peneliti, SD Muhammadiyah Pataan menggunakan kurikulum Merdeka. Guru di sekolah tersebut dalam penggunaan bahan ajar menyesuaikan Capaian Pembelajaran (CP) yang disesuaikan dengan kondisi peserta didik, Tujuan Pembelajaran (TP), serta menggunakan Alur Tujuan Pembelajaran (ATP) dalam kurikulum saat ini. Menurut Khoirurrijal et al. (2022) kurikulum Merdeka menawarkan berbagai

kesempatan belajar intrakurikuler, konten yang optimal untuk memberikan siswa waktu yang cukup untuk mengeksplorasi ide dan mengasah keterampilan, dan sumber daya instruksional yang dapat disesuaikan untuk memenuhi minat dan kebutuhan belajar mereka. Kurikulum yang digunakan dapat mendukung pembuatan bahan ajar berbasis PBL. Pada kurikulum Merdeka, siswa diharapkan dapat meningkatkan berpikir kritis, berpikir kreatif, dan kemampuan kognitif lainnya.

## 3. Analisis Materi

Untuk mengidentifikasi dan mengatur substansi yang akan digunakan dalam pembuatan bahan ajar sebagai tugas-tugas instruksional maka analisis materi harus dilakukan. Berdasarkan tabel 1, pelajaran matematika sangat tidak diminati oleh peserta didik. Terdapat 93% tidak menyukai matematika, dan banyak yang menyatakan bahwa matematika susah untuk dipahami. Terdapat 81% peserta didik menyatakan susah. Pemilihan pelajaran matematika ini disesuaikan dengan pelajaran yang kurang diminati peserta didik. Menurut Daniyati & Sugiman, (2015) Salah satu hal yang dapat mempengaruhi usaha seseorang adalah semangat dalam belajar (minat); jika peserta didik tidak memiliki hal ini, maka akan berdampak negatif pada usaha mereka, maka sulit menguasai materi,

namun jika siswa minat dalam belajar maka akan mempengaruhi ketekunan peserta didik dan memiliki hasil belajar yang akan baik. Peserta didik terkadang merasa cemas jika bertemu dengan pelajaran matematika. Kecemasan terhadap pelajaran matematika merupakan perasaan takut yang menyebabkan hal yang berkaitan dengan pemecahan masalah matematika menjadi terganggu. Siswa memiliki kecemasan matematis akan menganggap matematika itu sulit, tidak menarik, menolak mengerjakan tugas dan lain-lain (Nugroho et al., 2023; Sule et al., 2016).

Pada tahap ini, peneliti memperhatikan kesulitan peserta didik, yaitu masih menganggap matematika sebagai sesuatu yang tidak konkrit, berkisaran dengan menghitung dan rumus. Diharapkan peserta didik akan termotivasi untuk belajar matematika dan pendekatan PBL akan meningkatkan hasil belajar mereka. Tujuan dan hasil pembelajaran diperhitungkan saat memilih materi, dan kemudian materi pembelajaran dibuat dan disusun dengan cara yang logis dan terorganisir.

#### 4. Analisis Peserta Didik

Hasil belajar peserta didik dapat melakukan analisis peserta didik. Analisis tahap ini dilakukan untuk mengetahui hasil belajar dari peserta didik. Belum ada nilai ujian peserta yang memenuhi Kriteria

Ketuntasan Minimal (KKM), maka dapat dikatakan bahwa siswa memiliki hasil belajar yang kurang baik berdasarkan temuan dari penyebaran kuesioner. Temuan yang dibahas di sini didasarkan pada informasi yang dikumpulkan oleh peneliti di SD Muhammadiyah Pataan. Hasil belajar menjadi salah satu indikator sejauh mana siswa telah mempelajari informasi di sekolah, yang ditunjukkan dengan nilai ujian mereka pada materi pembelajaran tertentu (Mamolo, 2021).

Berdasarkan tabel 1 dan tabel 2, hasil pembelajaran peserta didik dapat dinyatakan kurangnya hasil belajar serta peserta didik cukup tertarik dengan bahan ajar berbasis PBL. Pemilihan strategi pembelajaran dapat mempengaruhi kualitas hasil belajar, jika peserta didik mempunyai motivasi belajar yang tinggi maka peserta didik akan lebih giat untuk belajar (Gunawan et al., 2022). Bersamaan dengan analisis di atas, terdapat data berupa nilai ulangan harian matematika kelas IV. Ulangan tersebut terdiri dari 18 butir soal pilihan ganda. terdapat dua puluh delapan siswa yang mengikuti ulangan harian pada bulan Maret. Temuan tersebut didasarkan pada informasi yang sudah dilakukan selama penelitian di SD Muhammadiyah Pataan, di mana mereka mengisi survei terkait bahan ajar LKPD. Perolehan nilai ulangan peserta didik dianalisis dan

dijabarkan pada Tabel 2. Peserta didik tidak ada yang lulus KKM, sehingga dapat dikatakan bahwa pola pikir yang sudah terbentuk dengan persepsi matematika tidak mudah/ matematika mata pelajaran yang sulit sudah melekat pada pola pikir peserta didik. Ini menjadi salah satu alasan rendahnya minat dan hasil belajar peserta didik.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian di atas, hasil belajar peserta didik dari 28 orang, belum ada yang memenuhi KKM pada pelajaran matematika, terdapat 93% matematika “tidak disukai” peserta didik, dan 81% dibutuhkan bahan ajar matematika berbasis *Problem Based Learning* (PBL) untuk menarik minat belajar peserta didik dan meningkatkan hasil belajar. Sehingga perlu dikembangkan bahan ajar yang dapat mencakup kebutuhan siswa kelas IV di SD Muhammadiyah Pataan dengan memperhatikan penggunaan model PBL yang dapat meningkatkan hasil belajar siswa.

## DAFTAR PUSTAKA

Ariso, J., Susanta, A., & Mukhtadir, A. (2023). Pengembangan LKS Matematika Berbasis Problem Based Learning (PBL) untuk

Siswa Kelas V Sekolah Dasar. *Jurnal Pembelajaran Dan Pengajaran Pendidikan Dasar*, 6(1), 16–29.

Aziz, M. A., & Koeswanti, H. D. (2024). Penerapan Model Problem Based Learning Untuk Meningkatkan Keterampilan Berpikir Kritis Dan Hasil Belajar Matematika Siswa Kelas Iv Sdn Tingkir Tengah 02. *Science : Jurnal Inovasi Pendidikan Matematika Dan IPA*, 4(3), 246–255.

Dahlgren, M. A., Castensson, R., & Dahlgren, L. O. (1998). PBL from the teachers' perspective Conceptions of the tutor's role within problem based learning. *Higher Education*, 36, 437–447.

Daniyati, N. A., & Sugiman, S. (2015). Hubungan Antara Kemampuan Verbal, Kemampuan Interpersonal, dan Minat Belajar dengan Prestasi Belajar Matematika. *PYTHAGORAS Jurnal Pendidikan Matematika*, 10(1), 50–60. <https://doi.org/10.21831/pg.v10i1.9109>

Devirita, F., Neviyarni, N., & Daharnis, D. (2021). Pengembangan Buku Ajar Berbasis Problem Based Learning di Sekolah Dasar. *Jurnal Basicedu*, 5(2), 469–478. <https://doi.org/10.31004/basicedu.v5i2.680>

Fitriana, D. N., & Aprilia, A. (2021). Mindset Awal Siswa terhadap Pembelajaran Matematika yang Sulit dan Menakutkan.



- PEDIR: Journal of Elementary Education*, 1(2), 28–40.
- Gunawan, W., Mastroah, I., Septantiningtyas, N., Wiyarno, Y., & Atiqoh, A. (2022). Pengaruh Strategi PBL dan Motivasi Belajar terhadap Hasil Belajar Bahasa Inggris. *Jurnal Basicedu*, 6(4), 6023–6029. <https://doi.org/10.31004/basicedu.v6i4.3122>
- Huberman, M., & Miles, M. B. (1992). *Analisis data kualitatif Terjemahan*. UI Press.
- Indofah, A. V., & Hasanudin, C. (2023). Anggapan Siswa Tentang Pelajaran Matematika yang Sulit dan Menakutkan. *Seminar Nasional Daring*, 1110–1113.
- Indrawini, T., Amirudin, A., & Widiati, U. (2017). Pentingnya Pengembangan Bahan Ajar Tematik untuk Mencapai Pembelajaran Bermakna bagi Siswa Sekolah Dasar. *Prosiding Seminar Nasional Mahasiswa Kerjasama Direktorat Jenderal Guru*, 1–7.
- Khoirurrijal, Fadriati, Sofia, & Makrufi, A. D. (2022). *Pengembangan Kurikulum Merdeka*. CV. Literasi Nusantara Abadi.
- Mamolo, L. A. (2021). Development of an Achievement Test to Measure Students' Competency in General Mathematics. *Anatolian Journal of Education*, 6(1), 79–90. <https://doi.org/https://doi.org/10.29333/aje.2021.616a>
- Nindiawati, D., Subandowo, M., & Rusmawati, R. D. (2021). Pengembangan Bahan Ajar Matematika untuk Siswa Kelas V Sekolah Dasar. *Edcomtech*, 6(1), 140–150.
- Nofziarni, A., Fitria, Y., & Bentri, A. (2019). *Pengaruh Penggunaan Model Problem Based Learning ( Pbl ) Terhadap Hasil Belajar Siswa Di Sekolah Dasar*. 3(4), 2016. <https://jbasic.org/index.php/basicedu>
- Novianti, A., Bentri, A., & Zikri, A. (2020). Pengaruh Penerapan Model Problem Based Learning (Pbl) Terhadap Aktivitas Dan Hasil Belajar Siswa Pada Pembelajaran Tematik Terpadu Di Kelas V Sekolah Dasar. *Jurnal Basicedu*, 4(1), 194. <https://jbasic.org/index.php/basicedu>
- Nugroho, D., Untu, Z., & Fitrah Samsuddin, A. (2023). Kecemasan Matematika Siswa Ditinjau Dari Hasil Belajar. *Jurnal Derivat*, 10(1), 52–62.
- Nurdin, S., Cibro, N. A., & Oviana, W. (2023). Pengembangan Bahan Ajar Berbasis Model Pembelajaran Discovery Learning di SD/MI. *FITRAH*, 5(1), 37–52.
- Permen RI 11. (2005). *Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Republik Indonesia Tahun 2005 tentang Buku Teks Pembelajaran*. Kemendikbud.
- Puspitasari, H., & Suparman. (2018). *Analisis Kebutuhan Bahan Ajar Berpendekatan Problem Based Learning Untuk Siswa Kelas VII*. 708–713.

- Risandi, H. (2021). *Pengembangan Lembar Kerja Peserta Didik Berbasis Problem Based Learning Pada Pembelajaran Matematika Materi Statistika Kelas IV SDN 27 SAGO*. Universitas Bung Hatta.
- Sule, B., Hussaini, M. M., Bashir, U. S., & Garba, A. (2016). Mathematics phobia among senior secondary school students: implication for manpower development in science education in Nigeria. *International Journal of Education and Evaluation*, 2(8), 16–21.
- Wicahyani, A. I., & Mukhlisina, I. (2023). Penerapan Model Problem Based Learning Untuk Meningkatkan Hasil Belajar Siswa Pada Mata Pelajaran Matematika Di Sd Muhammadiyah 4 Batu. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Dasar*, 8(1), 952.
- Yakin, I. H. (2023). *Metode Penelitian Kualitatif*. CV. Aksara Global Akademia. <https://www.researchgate.net/publication/374373839>