

Eksperimen Analisa Laju Stress Corrosion Cracking Pada Kuningan Dengan Variasi Pembebanan Tarik Dalam Media Asam Klorida, Asam Sulfat, Asam Asetat Dan Natrium Klorida

by Denny Aspiantoro

Submission date: 10-Jul-2025 01:31PM (UTC+0700)

Submission ID: 2712771236

File name: Teknik_Denny_Aspiantoro_1421900157_artikel_ilmiah.pdf (1.02M)

Word count: 2666

Character count: 16581



1
Eksperimen Analisa Laju Stress Corrosion Cracking Pada Kuningan Dengan Variasi Pembebanan Tarik Dalam Media Asam Klorida, Asam Sulfat, Asam Asetat Dan Natrium Klorida

Denny Aspiantoro, Ismail,

1
Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya
Jalan Semolowaru No. 45 Surabaya 60118, Tel. 031-5931800, Indonesia
email: dennyaspiantoro88@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh tegangan tarik terhadap laju korosi pada logam kuningan ketika terendam dalam empat jenis media larutan yaitu, HCl, H₂SO₄, CH₃COOH dan NaCl. Pengujian dilakukan secara eksperimental dengan metode kehilangan berat (weight loss), dimana spesimen diberi pembebanan statis sebesar 115 MPa, 135 MPa dan 155 MPa, lalu direndam dengan larutan selama 10 hari. Berat sebelum dan sesudah perendaman digunakan untuk menghitung laju korosi dalam satuan mm/tahun. Hasil pengujian menunjukkan bahwa peningkatan beban tarik secara konsisten meningkatkan laju korosi pada seluruh media. Media asam klorida menghasilkan nilai korosi tertinggi, disusul oleh natrium klorida, asam asetat dan asam sulfat. Penambahan NaCl sebagai media perendaman netral menghasilkan efek korosif yang signifikan terhadap kuningan, membuktikan bahwa ion klorida berperan penting dalam mempercepat kerusakan logam meskipun tidak dalam suasana asam. Secara keseluruhan, penelitian ini menginformasikan bahwa kombinasi tegangan dan lingkungan korosif dapat memicu fenomena *stress corrosion cracking* (SCC) pada logam kuningan.

Kata Kunci: kuningan, *stress corrosion cracking* (SCC), larutan korosif, tegangan tarik, *weight loss*.

13

ABSTRACT

This study aims to evaluate the effect to tensile stress on the corrosion rate of brass when exposed to four different corrosive environments: HCl, H₂SO₄, CH₃COOH dan NaCl. The experiment was conducted using the weight loss method, in which specimens were subjected to static tensile loads of 115 MPa, 135 MPa, 155 MPa and 155 MPa, then immersed in the respective solutions for 10 days. The difference in specimen weight before and after immersion was used to calculate the corrosion rate in mm/year. The results showed that increasing the tensile consistently accelerated the corrosion rate in all test solutions. Hydrochloric acid produced the highest corrosion rate, followed by sodium chloride, acetic acid and sulphuric acid. The use of sodium chloride as a neutral immersion medium exhibited a significant corrosive effect on brass, indicating that chloride ions play a critical role in the

degradation process even under non-acidic conditions. Overall, this study confirms that the interaction between mechanical stress corrosive environments can trigger stress corrosion cracking (SSC) in brass alloys.

Keywords: *brass, stress corrosion cracking (SCC), corrosive media, tensile load, weight loss.*

PENDAHULUAN

Dalam era industri modern, kebutuhan akan material logam yang tangguh terhadap lingkungan ekstrem semakin meningkat. Kuningan, sebagai paduan non-ferro yang terdiri dari tembaga dan seng, kerap dipilih karena ketahanan korosinya yang baik serta kemudahan fabrikasi. Meski demikian, logam ini tetap rentan terhadap kerusakan yang melibatkan tegangan mekanis dan media korosif, salah satu fenomena *stress corrosion cracking* (SCC). Stress corrosion cracking merupakan jenis korosi kompleks yang terjadi akibat interaksi antara beban tarik static dan zat kimia agresif di lingkungan sekitar logam. Mekanisme ini dapat menyebabkan retakan mikro yang berkembang seiring waktu, hingga mengakibatkan kegagalan material secara mendadak. Salah satu faktor utama pemicunya adalah ion klorida, yang dikenal mampu merusak lapisan pasif permukaan logam, khususnya dalam media seperti asam klorida dan natrium klorida.

Dalam dunia industri, fenomena SCC dapat berdampak besar terhadap sistem perpipaan, komponen kelautan dan alat-alat kimia yang bekerja dalam tekanan tinggi. Pemilihan material yang tepat berdasarkan data eksperimen sangat penting agar tidak terjadi kegagalan struktural dini. Oleh karena itu, studi mengenai pengaruh lingkungan korosif dan tegangan mekanis terhadap kuningan menjadi penting secara aplikatif dan ilmiah.

Berbagai studi telah dilakukan untuk mengamati SCC pada logam-logam tertentu, namun kajian terhadap kuningan dalam lingkungan multi-media korosif dan variasi tegangan tarik masih relatif terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan pada pengaruh pembebanan tarik terhadap laju korosi kuningan dalam empat jenis larutan, yakni asam klorida, asam sulfat, asam asetat dan natrium klorida. Penambahan natrium klorida menjadi perhatian khusus karena bersifat netral dan umum ditemukan pada lingkungan lembap dan laut. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk: (1) menilai pengaruh variasi tegangan terhadap laju korosi; (2) membandingkan efektivitas media korosif dalam memicu SCC; dan (3) menyumbangkan data eksperimental yang dapat dimanfaatkan untuk pengembangan bahan teknik tahan korosi.

PROSEDUR EKSPERIMEN

Penelitian ini dilakukan secara eksperimental untuk mempelajari laju korosi logam kuningan akibat kombinasi pengaruh pembebanan tarik dan jenis media larutan. Sampel yang digunakan berupa pelat kuningan homogen berbentuk balok berukuran tetap, yang telah dibersihkan dan dikeringkan sebelum uji. Penelitian ini termasuk dalam jenis penelitian eksperimen laboratorium, yang dilakukan untuk mengamati pengaruh kombinasi tegangan tarik dan media larutan korosif terhadap laju korosi logam kuningan. Variabel utama yang dikaji meliputi: variasi pembebanan mekanis (MPa) dan jenis media larutan (asam kuat, asam lemah dan larutan garam netral).

Bahan utama berupa logam kuningan dalam bentuk pelat homogen dengan ukuran tetap. Larutan uji terdiri dari:

- Asam Klorida (HCl 0,1M)
- Asam Sulfat (H₂SO₄ 0,1M)
- Asam Asetat (CH₃COOH 0,1M)
- Natrium Klorida (NaCl 3,5%)

17
Alat-alat yang digunakan antara lain:

- Universal Testing Machine (UTM)
- Timbangan digital presisi 0,001 gram
- Gelas ukur, beaker glass, pipet volume
- Stopwatch, kain bebas berserat.

Pengujian korosi dilakukan menggunakan metode kehilangan berat (weight loss method). Spesimen ditimbang sebelum dan sesudah perendaman untuk memperoleh data selisih massa. Laju korosi dihitung berdasarkan rumus standar:

$$CR = \frac{K \cdot W}{D \cdot A \cdot T}$$

Dengan CR adalah laju korosi (mm/tahun), $K = 8,76 \times 10^4$, W adalah kehilangan berat (gram), D densitas kuningan (8,73 g/cm³), A luas permukaan spesimen (cm²), dan T adalah waktu (jam). Luas permukaan dihitung menggunakan rumus geometri balok sesuai dimensi spesimen.



Gambar 1. Spesimen Uji

Total spesimen yang digunakan sebanyak 36 unit yang terdiri dari 3 ulangan untuk setiap kombinasi perlakuan (4 media x 3 tegangan x 3 ulangan). Pembebanan tarik dilakukan menggunakan Universal Testing Machine (UTM), dan data didokumentasi visual diambil untuk mendukung analisis. Data hasil pengujian kemudian diolah dan dianalisis secara komparatif antar variasi media dan tegangan.



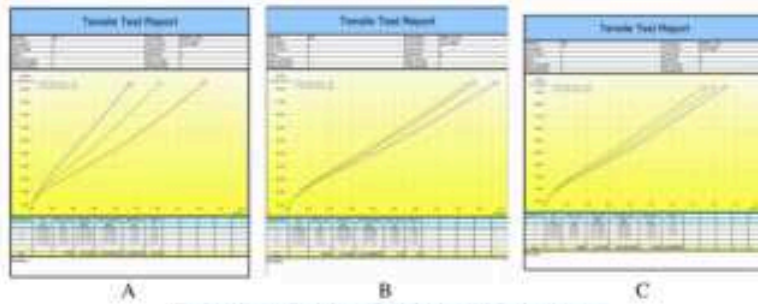
Gambar 2. Universal Testing Machine

Variabel pada penelitian ini terbagi atas variabel bebas yakni media larutan (asam klorida, asam sulfat, asam asetat dan natrium klorida) serta pembebanan tarik (115 MPa, 135MPa dan 155MPa). Dengan variabel terikat yaitu laju korosi (mm/tahun). Dan variabel control yaitu waktu perendaman yang dibuat 10 hari, ukuran spesimen, dan volume larutan serta suhu ruang.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengamatan terhadap laju korosi logam kuningan dilakukan dengan mengukur kehilangan massa spesimen sebelum dan sesudah perendaman dalam empat jenis larutan, masing-masing dikombinasikan dengan tiga tingkat pembebanan tarik. Hasil menunjukkan bahwa baik jenis larutan maupun besar tegangan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap nilai laju korosi.

Secara umum, laju korosi meningkat seiring bertambahnya tegangan tarik. Hal ini disebabkan oleh terbentuknya tegangan residual yang mempermudah ion agresif, terutama ion klorida, untuk menembus permukaan logam dan merusak struktur butir. Pada semua larutan uji, tren ini berlangsung konsisten, dengan peningkatan yang lebih mencolok terlihat pada media asam klorida dan natrium klorida. Sebagai contoh, pada spesimen yang direndam dalam larutan asam klorida, laju korosi tercatat tertinggi saat diberi beban 155 MPa, mendekati 40 mm/tahun, sedangkan pada beban 115 MPa hanya berkisar 24 mm/tahun. Hal serupa terjadi di natrium klorida, meskipun nilai laju korosinya sedikit lebih rendah dibanding asam klorida.



Gambar 3. Variasi Pembebanan Tarik Spesimen Uji Rendaman Asam

Larutan asam sulfat menunjukkan nilai laju korosi paling rendah diantara keempat media uji. Diduga, hal ini terkait dengan pembentukan lapisan pasif dari ion sulfat yang relative lebih stabil, sehingga memperlambat reaksi oksidasi pada permukaan kuningan. Sebaliknya, asam asetat, meskipun termasuk asam lemah, tetap menunjukkan nilai laju korosi yang cukup tinggi, khususnya saat spesimen diberi beban tarik menengah dan tinggi.

Temuan menarik muncul pada penggunaan larutan natrium klorida. Meskipun memiliki pH netral, larutan ini menunjukkan efek korosif yang cukup agresif, terutama karena kandungan ion klorida yang sangat efektif merusak film pasif logam. Hal ini mengindikasikan bahwa lingkungan netral pun dapat memicu kerusakan material melalui mekanisme stress corrosion cracking (SCC), selama terdapat tegangan tarik yang cukup.

Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa laju korosi pada kuningan sangat dipengaruhi oleh dua faktor utama, yaitu tingkat pembebanan tarik dan jenis media larutan. Kombinasi keduanya menentukan seberapa besar resiko terjadinya SCC.



Gambar 4. Variasi Pembebanan Tarik Spesimen Uji Rendaman NaCl

Setelah spesimen uji dilakukan pengujian tarik dengan setiap tegangan, dimana pada penelitian ini menggunakan tegangan sebesar 115 MPa, 135 MPa dan 155MPa, didapatkan hasil pengujian pembebanan tarik seperti pada gambar 4. Maka tahapan selanjutnya adalah melakukan proses perendaman larutan. Pada penelitian ini menggunakan empat larutan yaitu asam klorida, asam sulfat, asam asetat dan natrium klorida, seperti pada gambar 5.



Gambar 3 Perendaman larutan HCl



Gambar 4 Perendaman larutan H₂SO₄



Gambar 5 Perendaman larutan CH₃COOH



Gambar 6 Perendaman larutan NaCl

Sehingga dari perendaman tersebut didapatkan hasil berat akhir yang nantinya digunakan untuk perhitungan weight loss atau kehilangan berat. Dari perhitungan kehilangan tersebut, didapatkan nilai laju korosi menggunakan persamaan sebelumnya. Data hasil perhitungan laju korosi disajikan pada tabel 1.

Tabel 1. Laju Korosi *Waktu-Berat* Kuningan pada Berbagai Media dan Tegangan Tarik (mm/tahun)

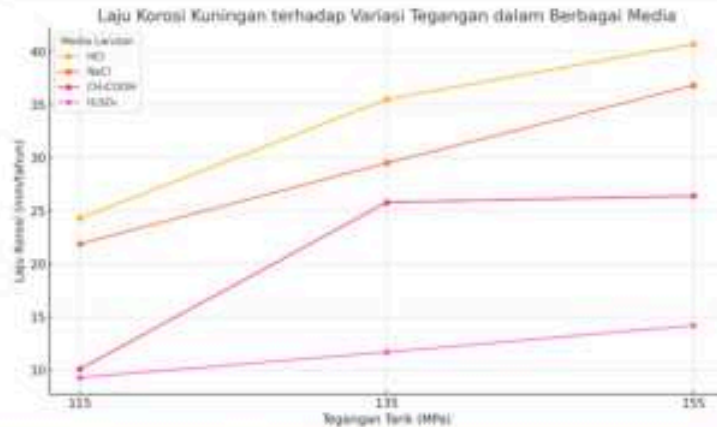
Media Larutan	115 MPa	135 MPa	155 MPa
HCl	35,5	51,18	58,66
NaCl	22,37	29,87	36,87
CH ₃ COOH	14,56	37,19	20,47
H ₂ SO ₄	13,40	16,18	20,47

Tabel 1 menyajikan laju korosi rata-rata kuningan pada empat jenis media larutan dengan tiga tingkat tegangan tarik. Secara umum, terlihat bahwa laju korosi meningkat bersamaan dengan bertambahnya pembebanan tarik. Pada media HCl, terjadi lonjakan signifikan dari 35,5 mm/tahun (115 MPa) menjadi 58,66 mm/tahun (155 MPa), menjadikannya sebagai media paling agresif dalam memicu degradasi logam. NaCl, meskipun bersifat netral, menunjukkan perilaku korosi yang hampir menyerupai HCl, terutama pada tegangan tertinggi.

Media CH₃COOH dan H₂SO₄ cenderung menghasilkan laju korosi yang lebih rendah, khususnya pada tegangan terendah yaitu di bawah 14 mm/tahun. Namun, pada CH₃COOH, peningkatan tegangan turut memperbesar laju korosi, mengindikasikan bahwa efek tegangan turut memperbesar laju korosi, mengindikasikan bahwa efek tegangan tetap dominan. Sebaliknya H₂SO₄ mempertahankan karakter pasifnya meskipun terjadi peningkatan beban, yang bisa jadi disebabkan oleh pembentukan lapisan protektif dari ion sulfat.

Pada Gambar 9, menunjukkan hubungan antara besar tegangan tarik yang diberikan terhadap spesimen kuningan dengan laju korosi yang dihasilkan dalam berbagai jenis media larutan. Secara umum, grafik memperlihatkan tren yang konsisten: semakin tinggi tegangan tarik yang diberikan, semakin besar laju korosi yang terjadi. Hal ini menunjukkan bahwa pembebanan mekanis memegang peran penting dalam mempercepat proses degradasi permukaan logam melalui mekanisme stress corrosion cracking (SCC). Pada seluruh media larutan yang diuji, terjadi peningkatan laju korosi seiring bertambahnya tegangan dari 115 MPa hingga 155 MPa. Namun, intensitas peningkatan tersebut bervariasi antar media. Pada larutan HCl, peningkatan nilai korosi sangat signifikan mencapai lebih dari 60% antara beban terendah dan tertinggi. Hal ini menunjukkan bahwa asam klorida merupakan media paling agresif terhadap kuningan, terutama karena kehadiran ion klorida yang mampu menembus lapisan pasif yang mempercepat reaksi elektrokimia di permukaan logam.

Dengan demikian, grafik ini menggambarkan bahwa kombinasi antara tegangan tarik dan komposisi kimia larutan sangat mempengaruhi laju korosi kuningan. Temuan ini memperkuat asumsi bahwa SCC terjadi paling agresif ketika logam berada dalam kondisi stress mekanis tinggi dan terpapar media yang mengandung ion klorida. Pengetahuan ini penting untuk mempertimbangkan pemilihan bahan dan perlindungan korosi dalam lingkungan agresif baik dalam industri kelautan, peralatan kimia, maupun sistem perpipaan.



Gambar 9. Hubungan antara laju korosi kuningan dengan variasi tegangan tarik dalam empat jenis media larutan

Selain hasil eksperimen, kondisi visual permukaan spesimen juga menunjukkan gejala degradasi yang berbeda pada tiap media. Spesimen yang direndam dalam HCl dan NaCl tampak lebih gelap dan kasar, sementara spesimen dalam H₂SO₄ terlihat lebih utuh. Ini memperkuat dugaan bahwa laju korosi bukan hanya fenomena kuantitatif, tetapi juga menghasilkan perubahan morfologi yang dapat teramati secara visual. Oleh karena itu, penting untuk mempertimbangkan inspeksi visual sebagai bagian dari pengujian korosi.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil eksperimen terhadap laju korosi logam kuningan dalam berbagai kondisi pembebanan tarik dan media larutan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Tegangan tarik berperan penting dalam meningkatkan laju korosi. Spesimen yang dikenai tegangan lebih tinggi menunjukkan kehilangan massa yang lebih besar dalam periode perendaman yang sama.
2. Media yang mengandung ion klorida (HCl dan NaCl) menunjukkan pengaruh paling agresif terhadap laju korosi, dengan tren peningkatan yang tajam pada setiap level tegangan. Hal ini mengindikasikan bahwa kehadiran ion klorida dapat mempercepat proses stress corrosion cracking meskipun media tidak bersifat asam.
3. Larutan asam sulfat menghasilkan laju korosi paling rendah, diduga karena kemampuannya membentuk lapisan pasif pada permukaan kuningan. Asam asetat, sebagai asam lemah, menunjukkan efek korosi menengah yang tetap meningkat seiring bertambahnya tegangan.
4. Secara keseluruhan, kombinasi antara tegangan mekanis dan komposisi larutan sangat mempengaruhi tingkat degradasi logam, serta berpotensi mempercepat kerusakan melalui mekanisme SCC.

Sehingga saran dari penelitian ini:

1. Penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan karakterisasi mikrostruktur lebih lanjut menggunakan SEM, EDX atau XRD untuk memverifikasi jenis retakan dan produk korosi yang terbentuk.
2. Uji ketahanan jangka panjang serta simulasi korosi dalam kondisi dinamis (mengalir atau berfluktuasi) dapat memberikan gambaran lebih komperhensif tentang ketahanan kuningan dalam lingkungan industri nyata.
3. Penggunaan inhibitor korosi atau lapisan pelindung juga perlu dikaji untuk mengetahui efektivitas mitigasi SCC pada kuningan dalam media korosif, khususnya yang mengandung ion klorida.

REFERENSI

- Akbar, M. e. (2021). Pengaruh Komposisi Seng terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Kuningan. *Jurnal Material Teknik*, 9(2), 45-52.
- Ashby, M. D. (2012). *Engineering Materials I: An Introduction to Properties, Applications and Design*. (11 ed.). Butterworth: Heinemann.
- ASNT. (2010). *Nondestructive Testing Handbook* (3rd ed.). American Society for Nondestructive Testing.
- Beech, I. B. (2004). Biocorrosion: Towards understanding interactions between biofilms and metals. *Current Opinion in Biotechnology*, 15(3), 181-186.
- Callister, W. D. (2018). *Materials Science and Engineering: An Introduction* (10 th ed.). Wiley.
- Davis, J. (2001). *Copper and Copper Alloys*. ASM International.
- Davis, J. R. (2001). *Alloying: Understanding the Basics*. ASM International.
- Fontana, M. (1987). *Corrosion Engineering* [3rd ed.]. McGraw-Hill.
- G31-12a, A. (2012). *Standard Guide for Laboratory Immersion Corrosion Testing of Metals*. McGraw-Hill: ASTM International.
- Grass, G. R. (2011). Metallic Copper as an Antimicrobial Surface. *Applied and Environmental Microbiology*, 77(5), 1541-1547.
- Gupta, R. K. (2021). Understanding pitting corrosion behavior of copper and its alloys in chloride media: A review. *Materials Today: Proceedings*, 47, 4190-4196.
- Hull, D. &. (2011). *Introduction to Dislocations* (5th ed.). Butterworth: Heinemann.
- Jones, D. A. (1996). *Principles and Prevention of Corrosion* (2nd ed.). Prentice Hall.
- Lide, D. R. (2005). *CRC Handbook of Chemistry and Physics* (86th ed.). CRC Press.
- Liu, J. Z. (2014). Microstructure Evaluation and Crack Propagation in Brass Under Tensile Load. *Materials Science Forum*, 783-786, 345-349.
- Mansfeld, F. e. (2002). Desincification Behavior of Brass in Chloride Solutions. *Corrosion Science*, 44(12), 3211-3223.
- Mansfeld, F. e. (2002). Electrochemical Studies of Corrosion. *Corrosion Science*, 44(6), 1175-1190.

- Rahmawati, E. N. (2020). Uji Korosi Kuningan pada Media Asam Klorida dan Asetat. *Jurnal Korosi dan Proteksi Material*, 6(1), 17-24.
- Revie, R. W. (2008). *Corrosion and Corrosion Control*. Wiley.
- Roberge, P. R. (2000). *Handbook of Corrosion Engineering*. McGraw-Hill.
- Serdika, A. (1996). *Corrosion of Stainless Steels* (2nd ed.). Wiley: Interscience.
- Setiawan, B. e. (2016). Pengaruh Tegangan Terhadap Korosi Logam Non-Ferro. *Jurnal Rekayasa Material*, 11(2), 45-53.
- Shreir, L. (1994). *Corrosion: Metal/Environment Reactions*. Butterworth: Heinemann.
- Su, C. e. (2015). Corrosion Behavior of Brass Alloys in Acetic Acid Solutions. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 24(11), 4412-4418.
- Supriyanto, A. (2010). *Ilmu Bahan Teknik*. Graha Ilmu.
- Sutopo, W. e. (2019). Analisa Stress Corrosion Cracking pada Kuningan di Lingkungan NaCl. *Jurnal Rekayasa Material*, 14(3), 88-96.
- Totten, G. E. (2003). Physical Metallurgy and Processes. *Handbook of Aluminium, 1* (CRC Press).
- Turnbull, A. &. (2004). Modelling of Intergranular Stress Corrosion Cracking. *Corrosion Science*, 46(5), 1239-1264.

Eksperimen Analisa Laju Stress Corrosion Cracking Pada Kuningan Dengan Variasi Pembebanan Tarik Dalam Media Asam Klorida, Asam Sulfat, Asam Asetat Dan Natrium Klorida

ORIGINALITY REPORT

15%

SIMILARITY INDEX

15%

INTERNET SOURCES

8%

PUBLICATIONS

5%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	repository.untag-sby.ac.id Internet Source	5%
2	dspace.ankara.edu.tr Internet Source	1%
3	Jea Hyun Lee, Chang Ook Lee. "A Study on Corrosion Inhibition Effects Based on CS-NR Application Results on Leakage Accidents of Sprinkler Copper Pipes", Fire Science and Engineering, 2024 Publication	1%
4	Submitted to University of Adelaide Student Paper	1%
5	Submitted to Instituto Superior de Artes, Ciencias y Comunicación IACC Student Paper	1%
6	docs.lib.purdue.edu Internet Source	1%
7	researchmap.jp Internet Source	1%
8	Submitted to Xiamen University Student Paper	1%
9	id.scribd.com Internet Source	1%
10	acikbilim.yok.gov.tr Internet Source	<1%

11	123dok.com Internet Source	<1 %
12	core.ac.uk Internet Source	<1 %
13	koreascience.kr Internet Source	<1 %
14	Submitted to The Maldives National University Student Paper	<1 %
15	worldwidescience.org Internet Source	<1 %
16	www2.mdpi.com Internet Source	<1 %
17	docplayer.info Internet Source	<1 %
18	koreascience.or.kr Internet Source	<1 %
19	repository.umi.ac.id Internet Source	<1 %
20	earchive.tpu.ru Internet Source	<1 %
21	peterjakan.unpad.ac.id Internet Source	<1 %
22	www.scribd.com Internet Source	<1 %
23	Jivkov, A.P.. "Rates of intergranular environment assisted cracking in three-dimensional model microstructures", Theoretical and Applied Fracture Mechanics, 200712 Publication	<1 %

Exclude quotes	Off	Exclude matches	Off
Exclude bibliography	Off		