

Seminar Nasional Technopex 2025-ITI

PERKEMBANGAN RISET PRODUKSI HIDROGEN DENGAN TEKNOLOGI FOTOKATALISIS TERKOMBINASI



Oleh

Prof. Dr. Ir. S l a m e t , MT., IPU

**Staf Pengajar Departemen Teknik Kimia
Fakultas Teknik - Universitas Indonesia**

Serpong, 16 Oktober 2025

HIDRoGEN...



- Unsur paling sederhana, dengan satu proton dan satu elektron,
- Memiliki kandungan energi tertinggi (per satuan berat) vs bahan bakar umum lainnya,
- H_2 bukan sumber energi, tapi pembawa energi → harus diproduksi dari sumber lain, seperti air atau bahan bakar fosil, baru digunakan sebagai bahan bakar.

Potensi H₂



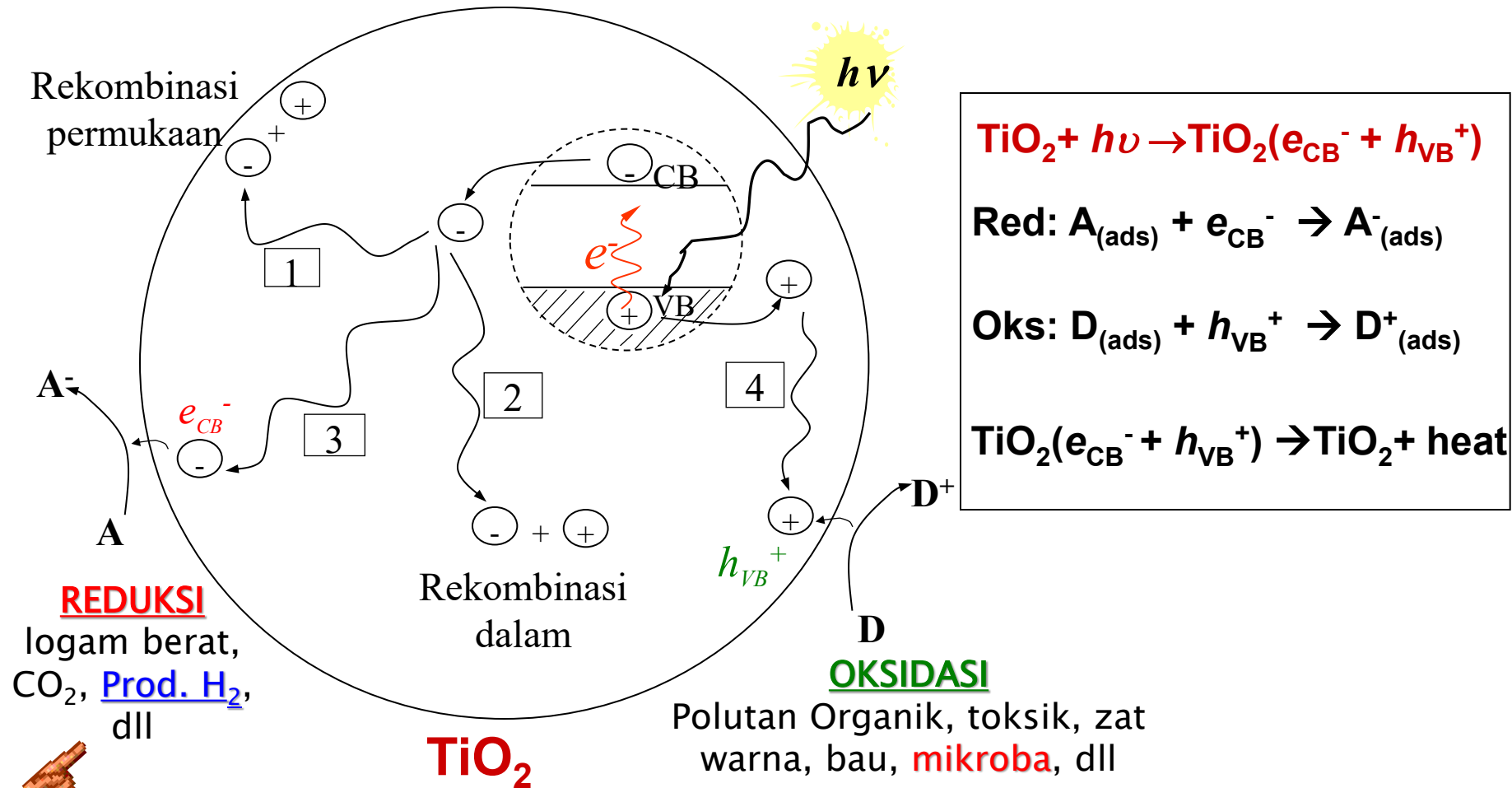
- ❑ **Bahan bakar bersih:** dalam *fuel cell* hanya menghasilkan listrik, panas, dan uap air → tidak menghasilkan emisi gas rumah kaca atau polutan lain.
- ❑ **Aplikasi:** H₂ dapat dimanfaatkan di berbagai sektor, termasuk transportasi, industri, dan pembangkit listrik.
- ❑ **Kendala produksi:**
 - Produksi hidrogen hijau dari elektrolisis air dg energi terbarukan, **masih mahal**.
 - Sebagian besar H₂ saat ini diproduksi dari bahan bakar **fosil (steam Reforming)**, → emisi karbon (GRK), boros energi.
- ❑ **Alternatif: FOTOKATALISIS**

FOTO-KATALISIS



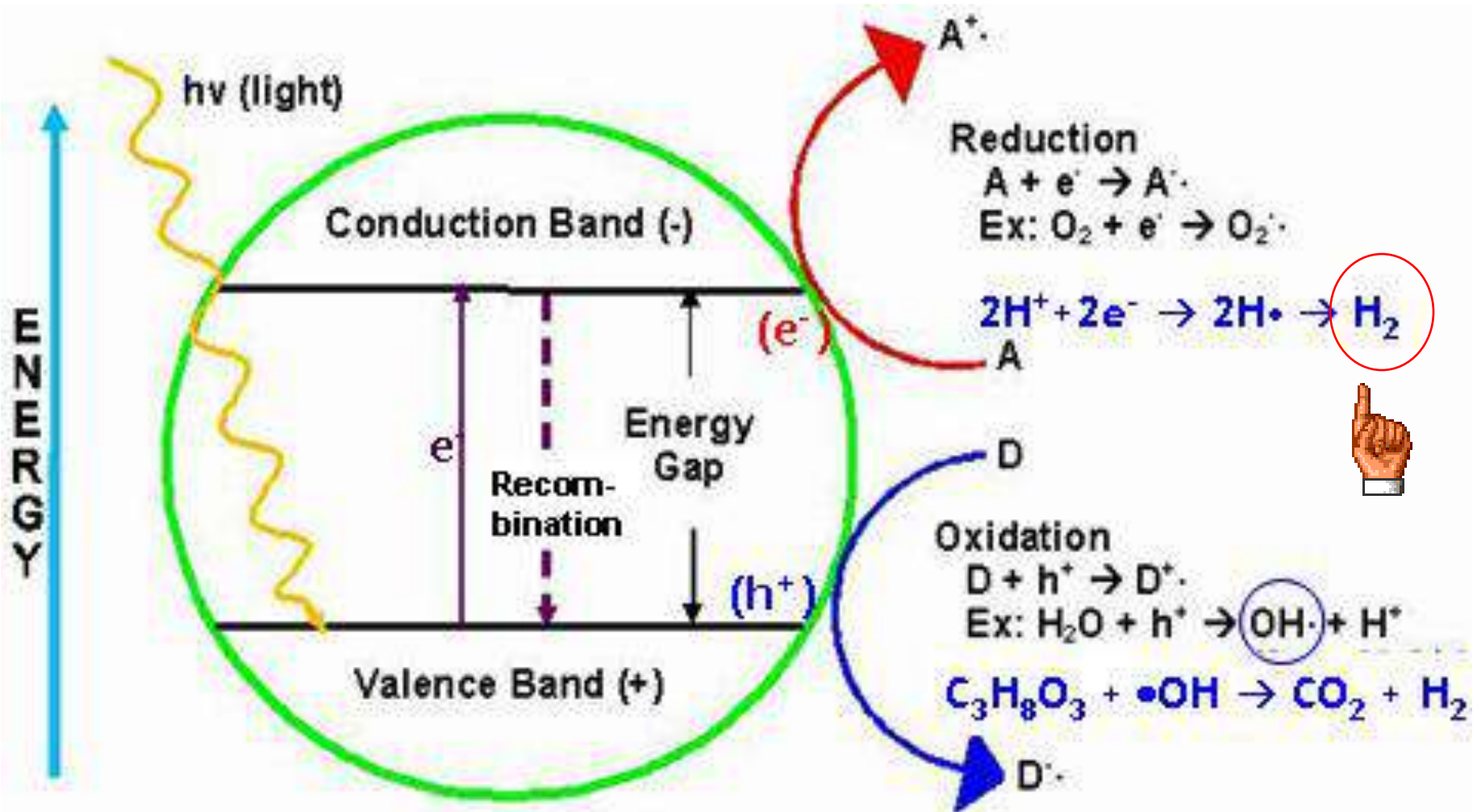
Suatu proses TRANSFORMASI
KIMIA yang dibantu oleh adanya
CAHAYA dan material KATALIS

Mekanisme fotokatalisis (1)



Mekanisme fotokatalisis

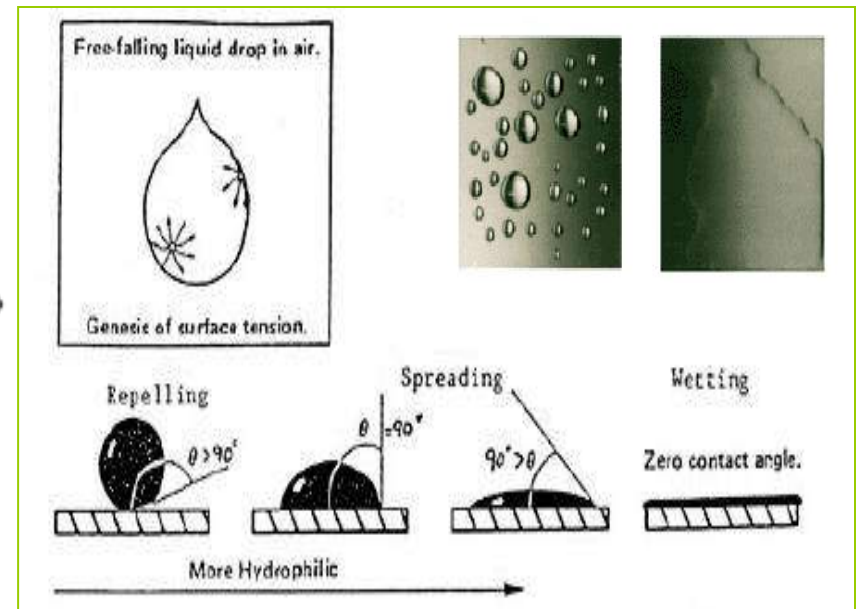
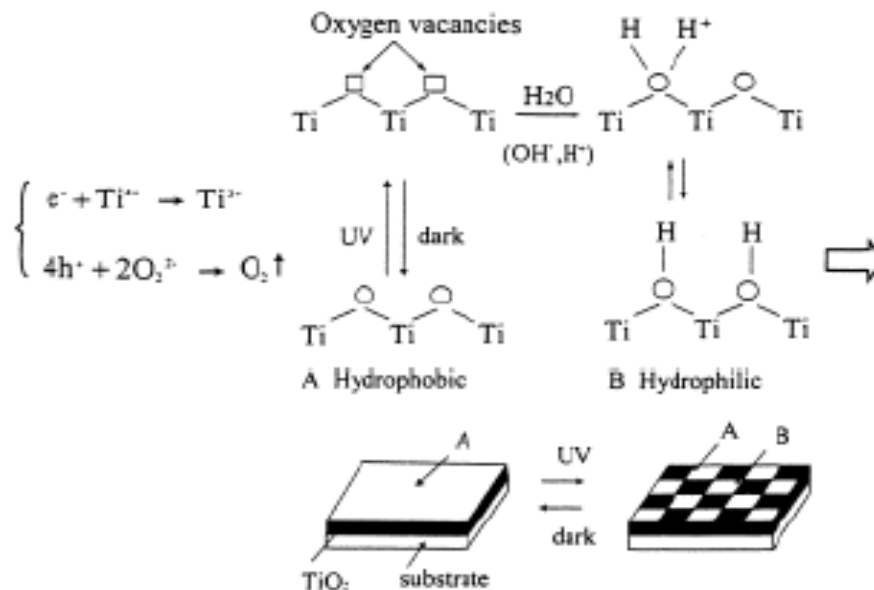
(Contoh Aplikasi: produksi H_2)

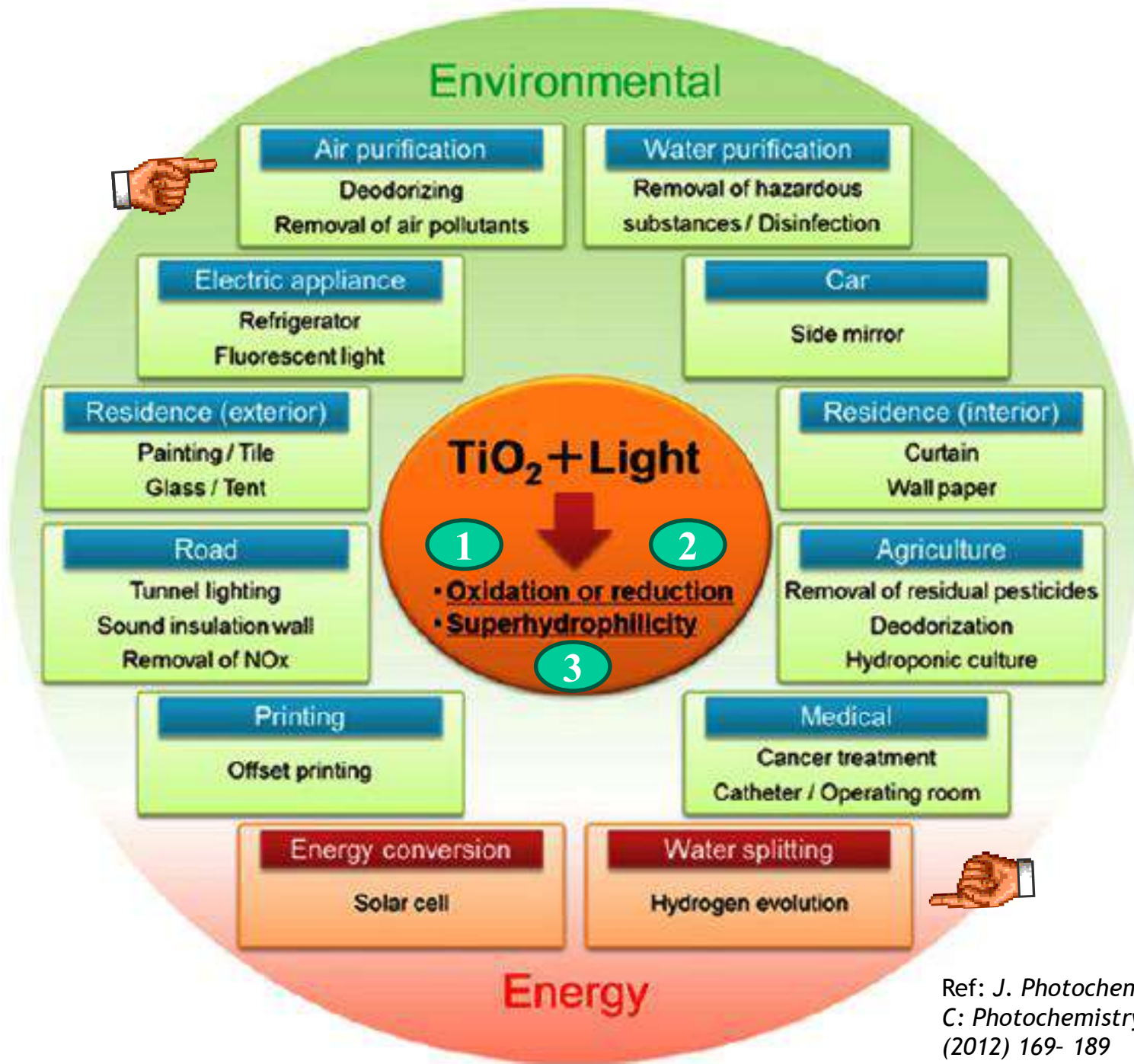




Mekanisme hidrofilik (2)

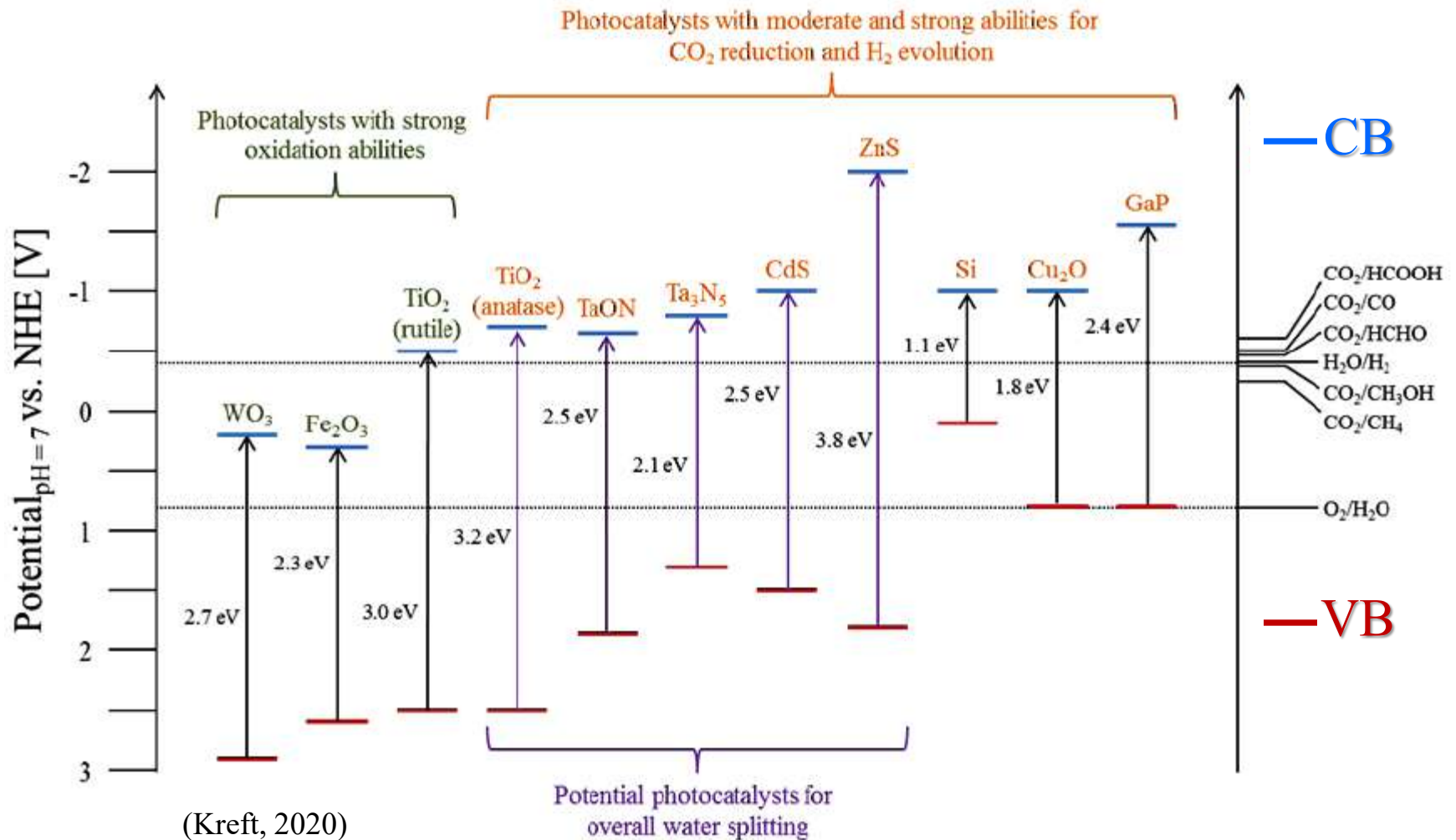
- Elektron mereduksi kation Ti(IV) menjadi Ti(III)
- Hole mengoksidasi anion O_2^- menjadi O_2
- Atom oksigen diusir membentuk *oxygen vacancy*
- Molekul air akan terserap ke dlm *oxygen vacancy*
- → Permukaan bersifat hidrofilik → *Self-Cleaning, Anti-fogging*





Ref: J. Photochem. Photobiol.
C: Photochemistry Reviews, 13
(2012) 169- 189

Band gap positions of various semiconductors



Peningkatan Kinerja Fotokatalisis

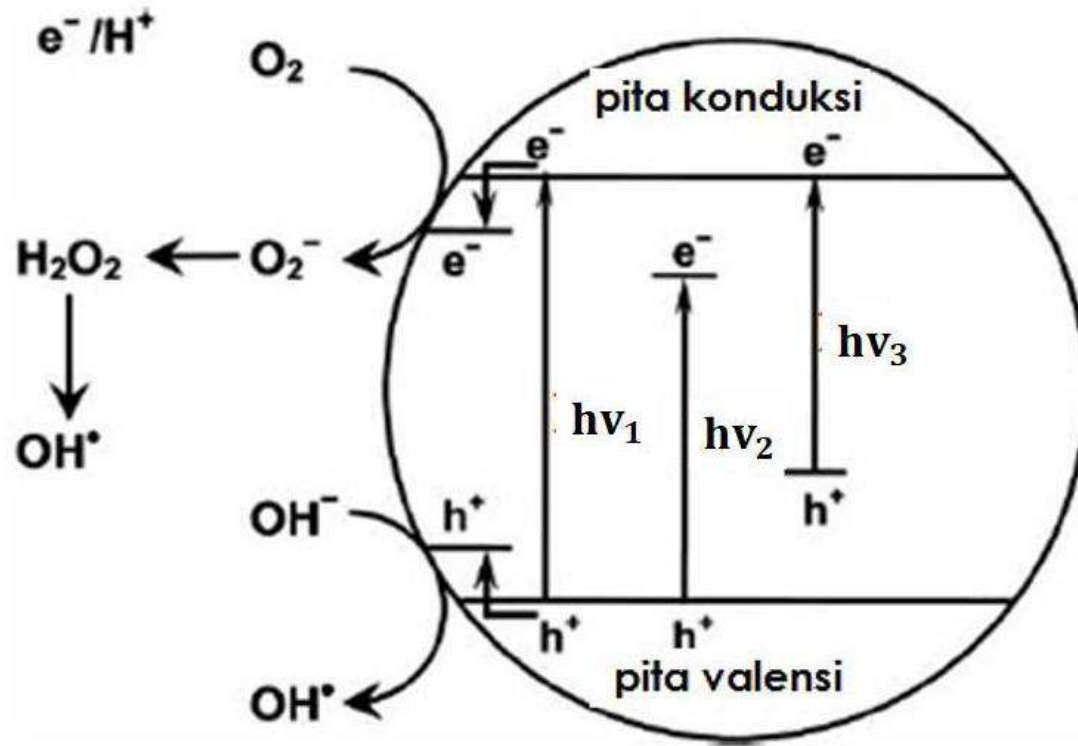
1. Modifikasi katalis:

- ❑ Penambahan dopan,
- ❑ Pembentukan komposit

2. Intensifikasi Proses:

- ❑ Kombinasi antar proses
- ❑ Rekayasa Reaktor

1. Modifikasi Fotokatalis (Penambahan Dopan)



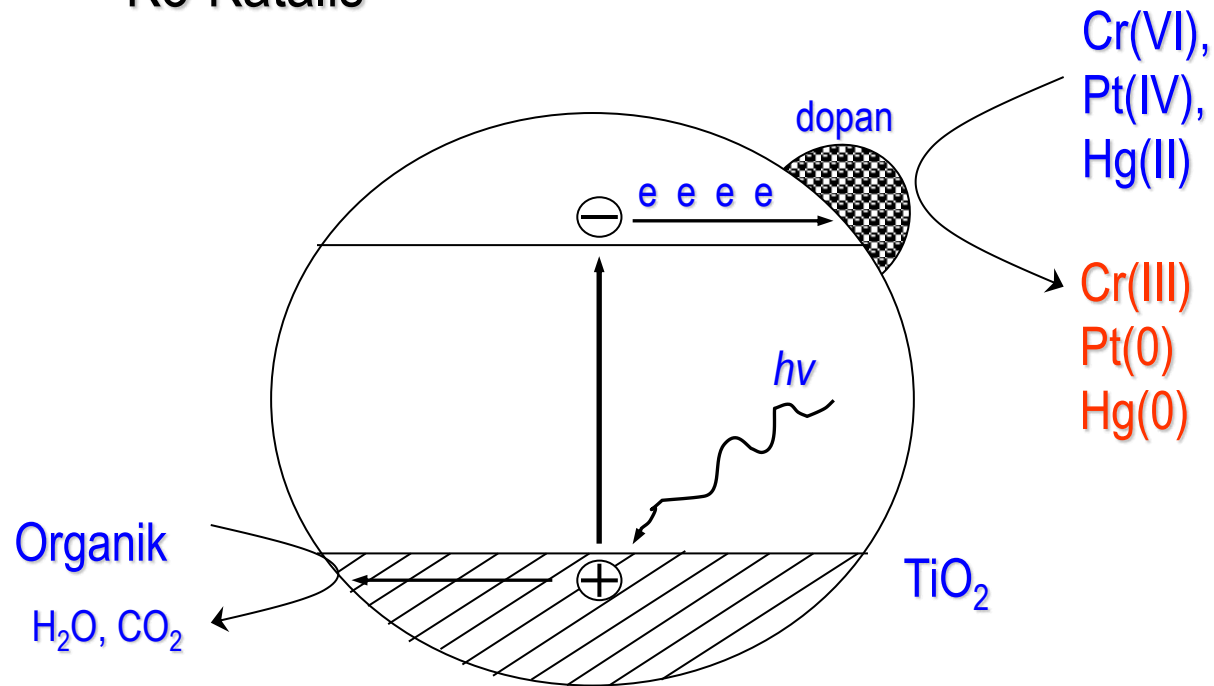
- Dopan Logam $\rightarrow$ atom logam cenderung menerima elektron (*electron trapper*) dari atom semikonduktor, membentuk lubang-kosong atau defek muatan positif dalam struktur kisi.
- Dopan non-logam $\rightarrow$ dapat menurunkan *band gap* dengan cara menggeser pita valensi akibat hibridisasi dari orbital p senyawa dopan non-logam dengan orbital p oksigen di TiO_2

Gambar 3. 1. Mekanisme fotokatalisis TiO_2 : $h\nu_1$ untuk TiO_2 murni, $h\nu_2$ untuk TiO_2 yang diberi *dopant* logam, dan $h\nu_3$ untuk TiO_2 yang diberi *dopant non-logam*

Dopan Logam

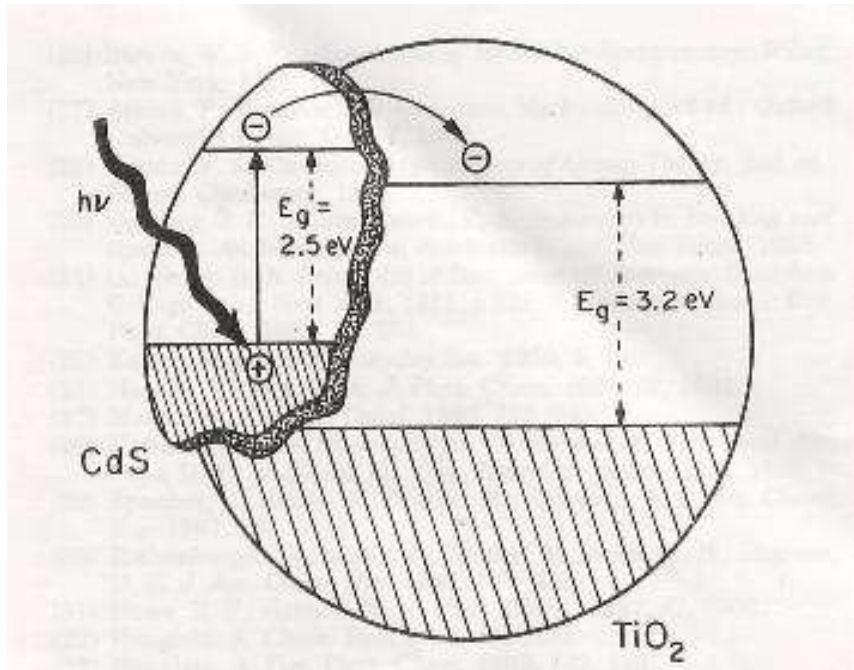
Fungsi:

- *Electron trapper* (menurunkan laju rekombinasi e^-/h^+)
- Menurunkan Bandgap
- Ko-Katalis



Contoh: Pt, Cu, Ag, dll

2. Fotokatalis Komposit



CdS/TiO₂, sumber foton: visible

Fungsi:

- Menurunkan laju rekombinasi e^-/h^+ (meningkatkan efisiensi pemisahan muatan),
- Menurunkan Bandgap → Meningkatkan daya serap foton
- Meningkatkan luas permukaan / aktivitas fotokatalitik,
- Meningkatkan stabilitas fotokatalis: mengurangi foto-korosi, meningkatkan ketahanan thd degradasi,
- Meningkatkan daya oksidasi dari VB & daya reduksi dari CB

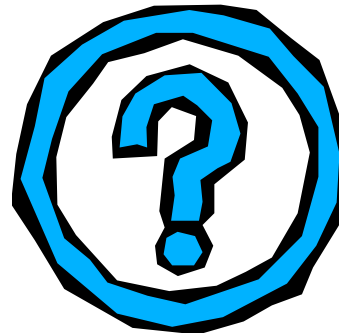
3. Kombinasi Proses

- Fotokatalisis-Elektrolisis
- Fotokatalisis-Elektrolisis-Sel Surya
- Fotokatalisis-Elektrokoagulasi
- Fotokatalisis-Fuel Cell
- dll

Fungsi:

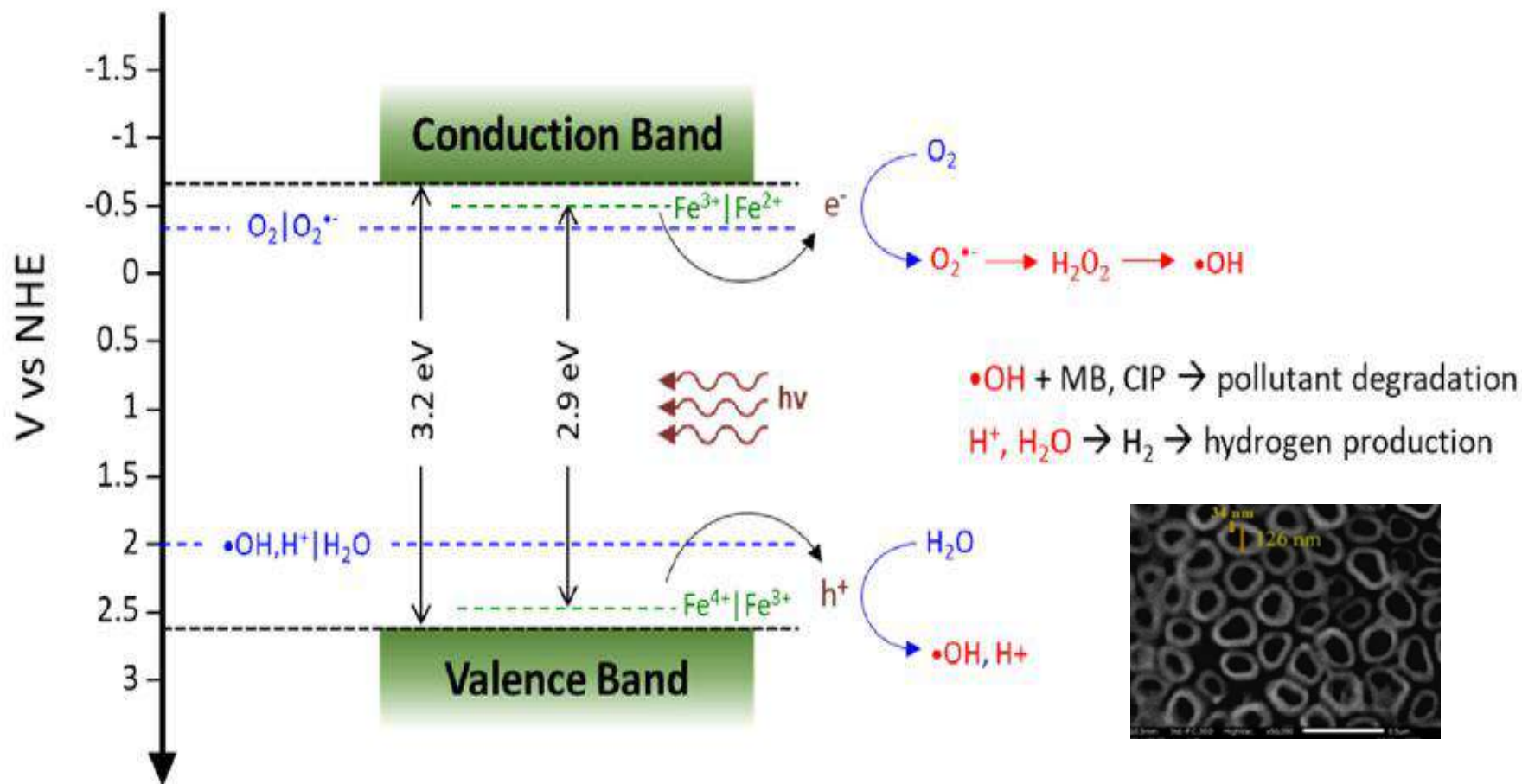
- Efek sinergis antar proses
- Efisiensi (energi, waktu, biaya)
- Multi-fungsi

Contoh-contoh Aplikasi FOTOKATALISIS

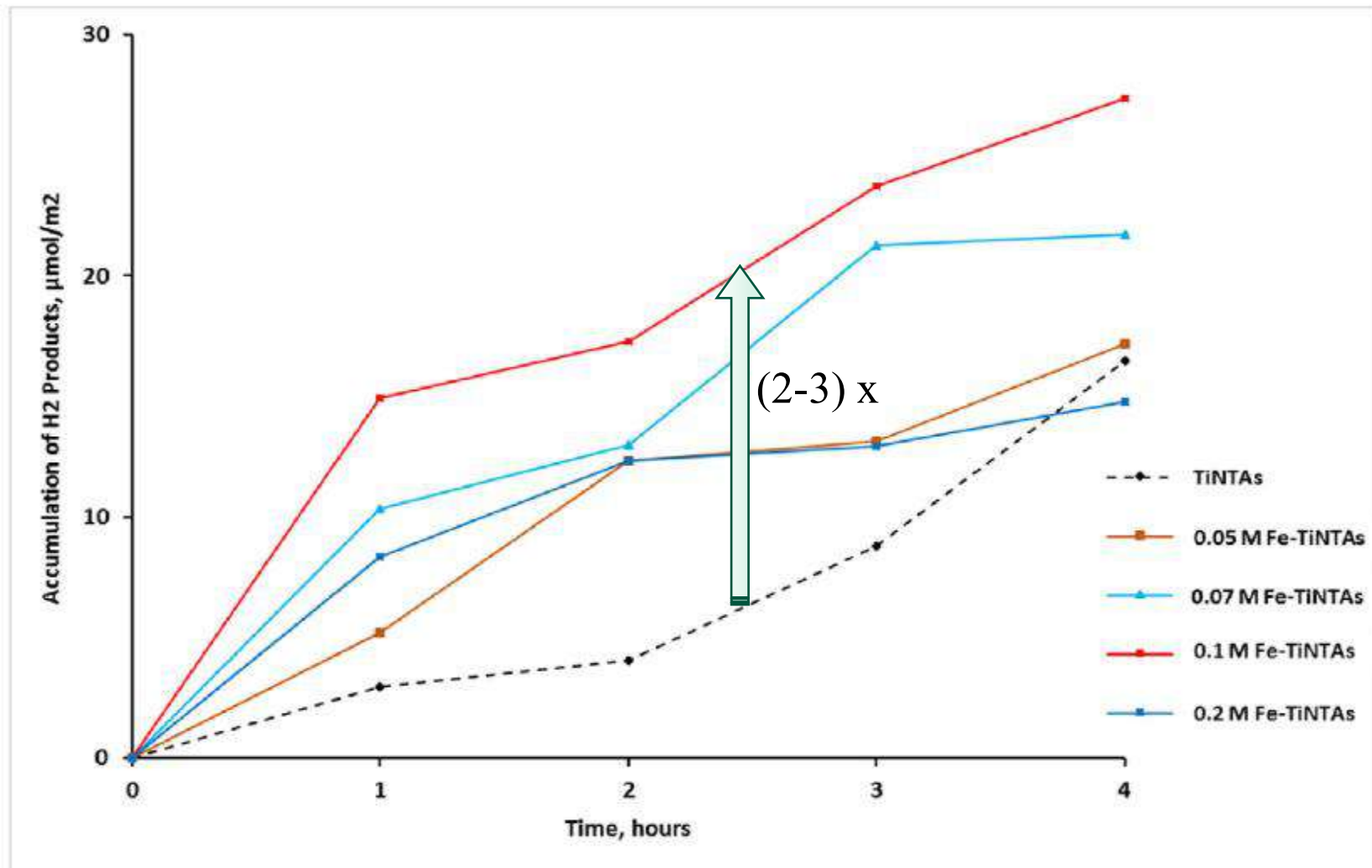


(Produksi Hidrogen &
Degradasi Polutan)

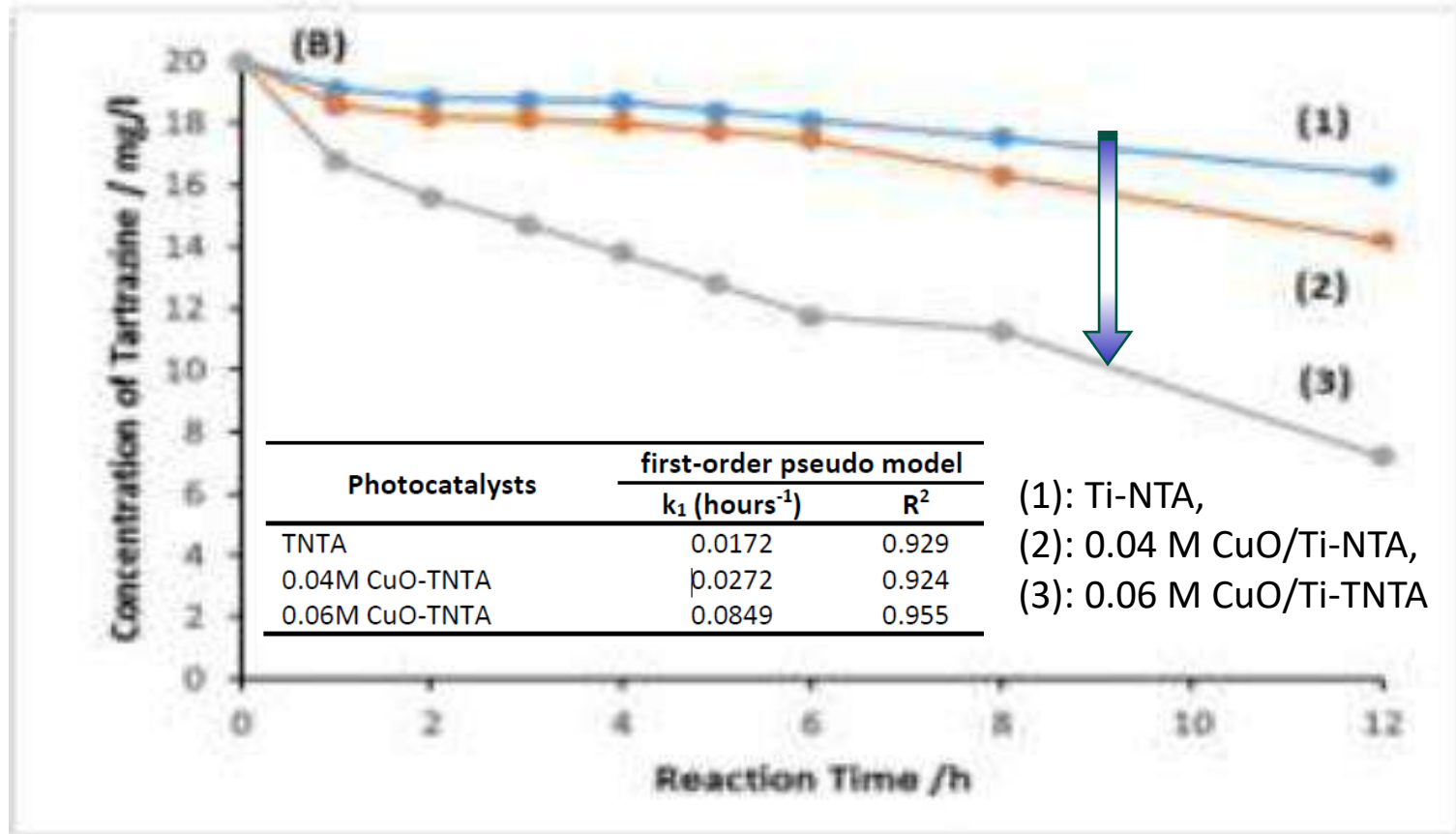
Pengaruh dopan Fe pd TiO₂-Nanotubes



Pengaruh dopan Fe pd TiO_2 -Nanotubes (Produksi H_2)



Komposit-biner CuO/TiO₂-NT (Degradasi Tartrazin & Produksi H₂)



(Indonesian Journal of Science & Technology, Vol. 7 (3), 2022, p. 385-404)

Komposit-biner CdS/TiO₂-NT (Degradasi CIP & Produksi H₂)

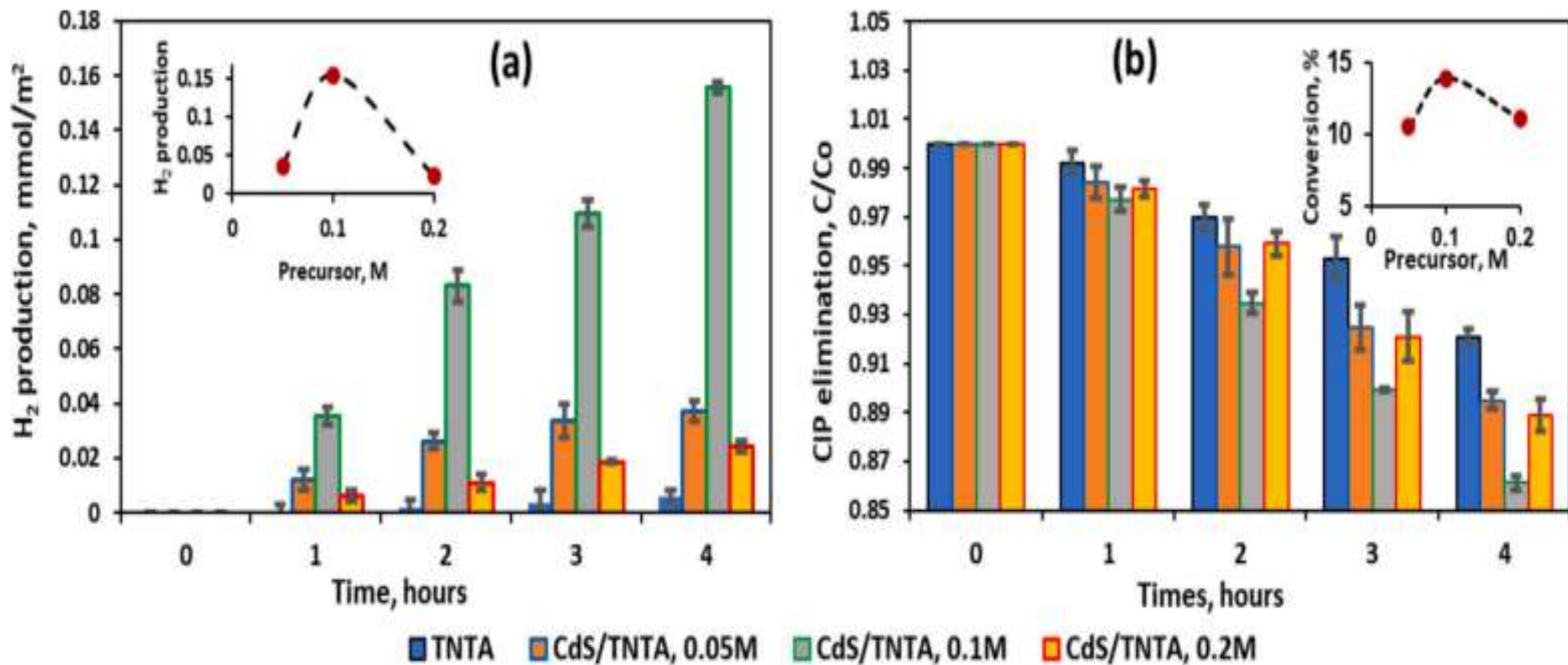
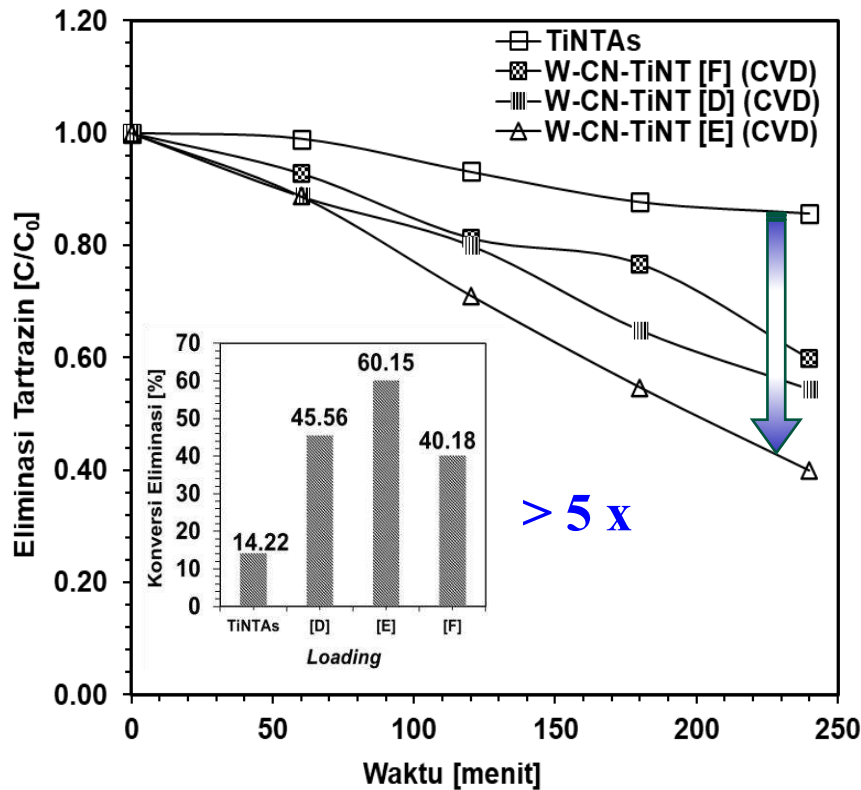


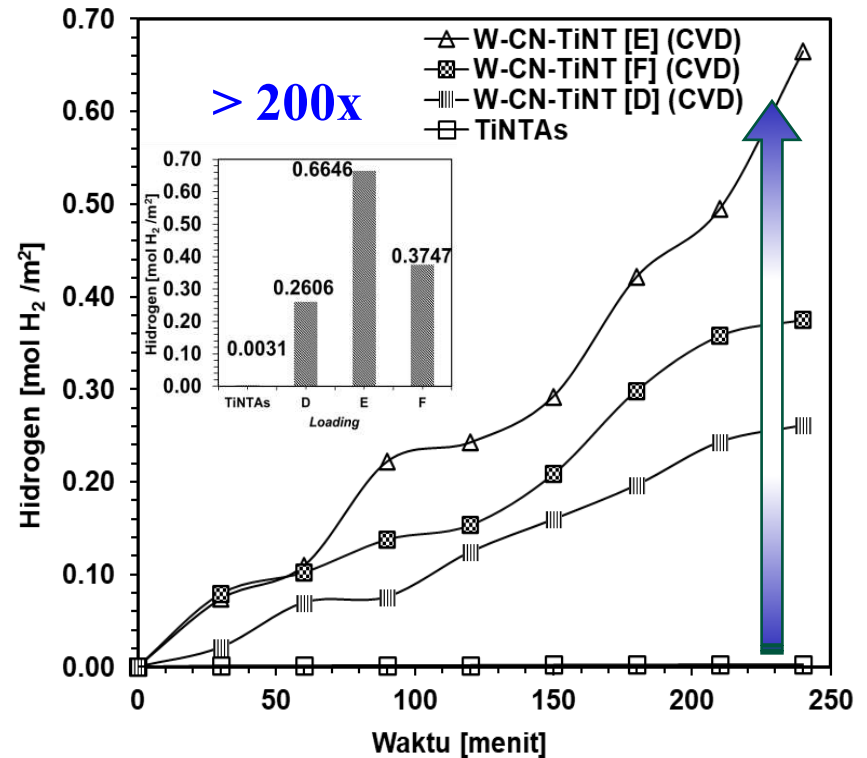
Fig. 6. Performance of TNTA and its comparison with CdS/TNTA nanocomposite in (a) H₂ production and (b) CIP degradation.

Komposit-terner $\text{WO}_3/\text{g-C}_3\text{N}_4/\text{TiO}_2\text{-NT}$

(Degradasi limbah Tartrazin & Produksi H_2)

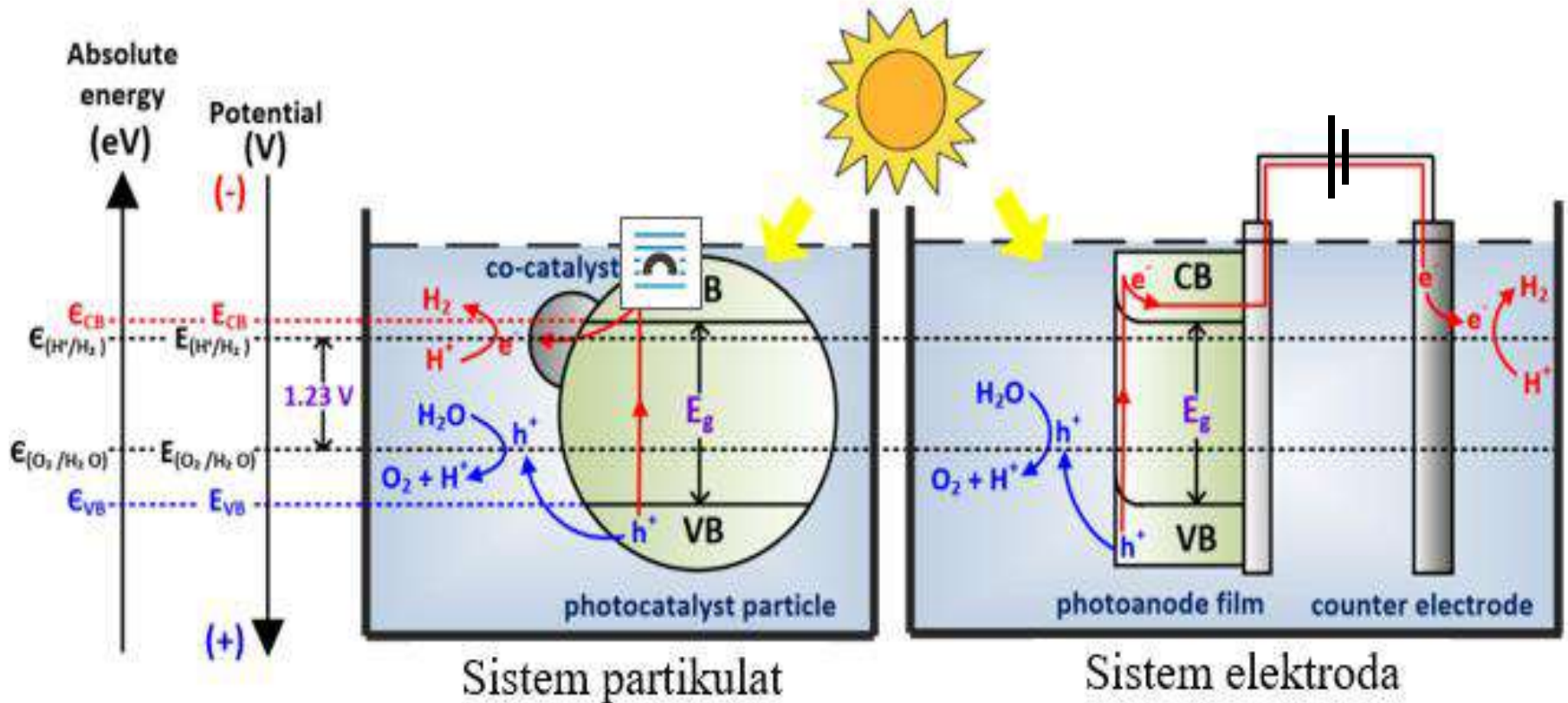


Degradasi Tartrazin



Produksi Hidrogen

Kombinasi Fotokatalisis-Elektrolisis



Kombinasi Fotokatalisis-Elektrolisis

Komposit CuO/TiO_2 (Degradasi Amonia & Produksi H_2)

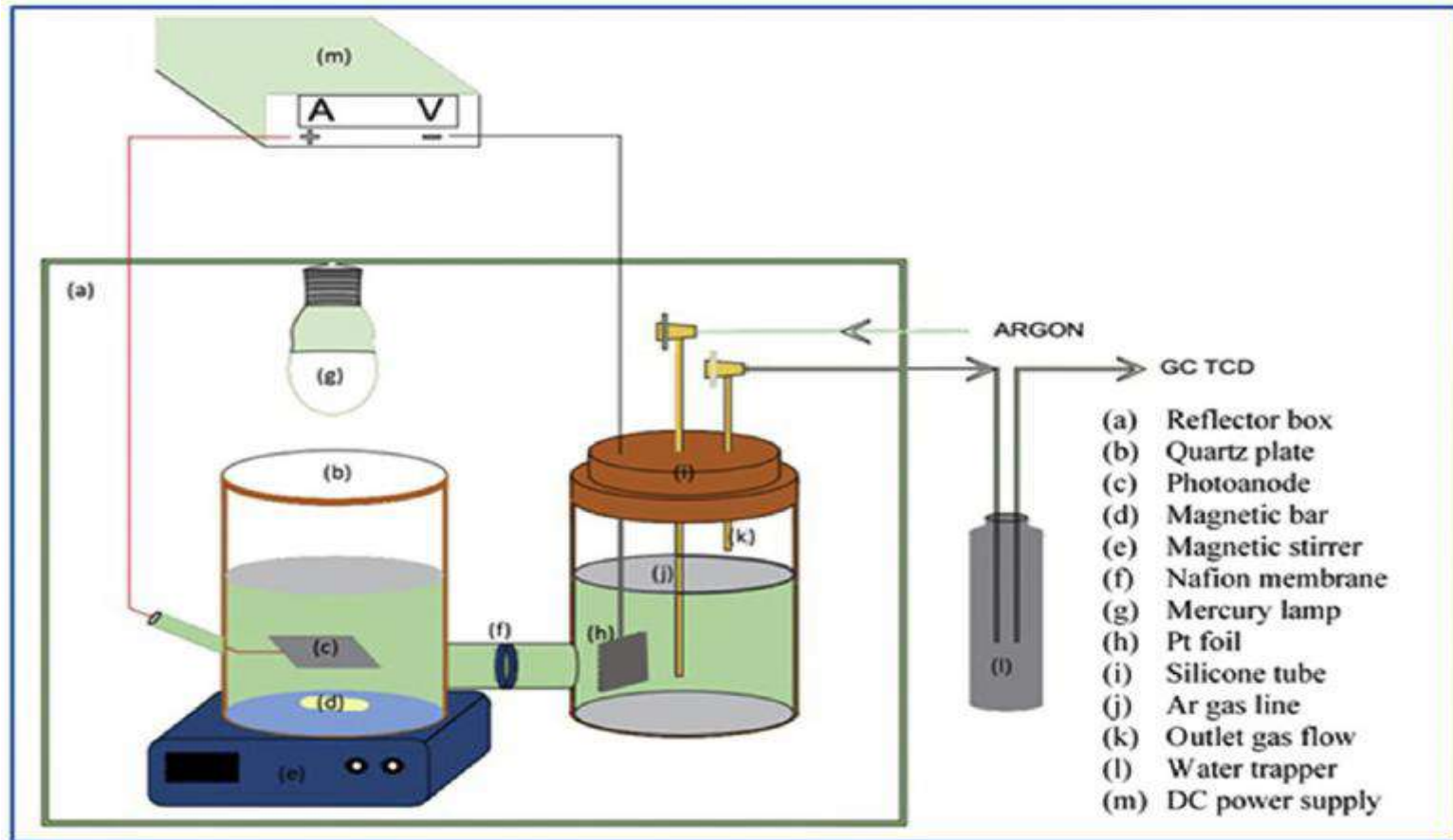
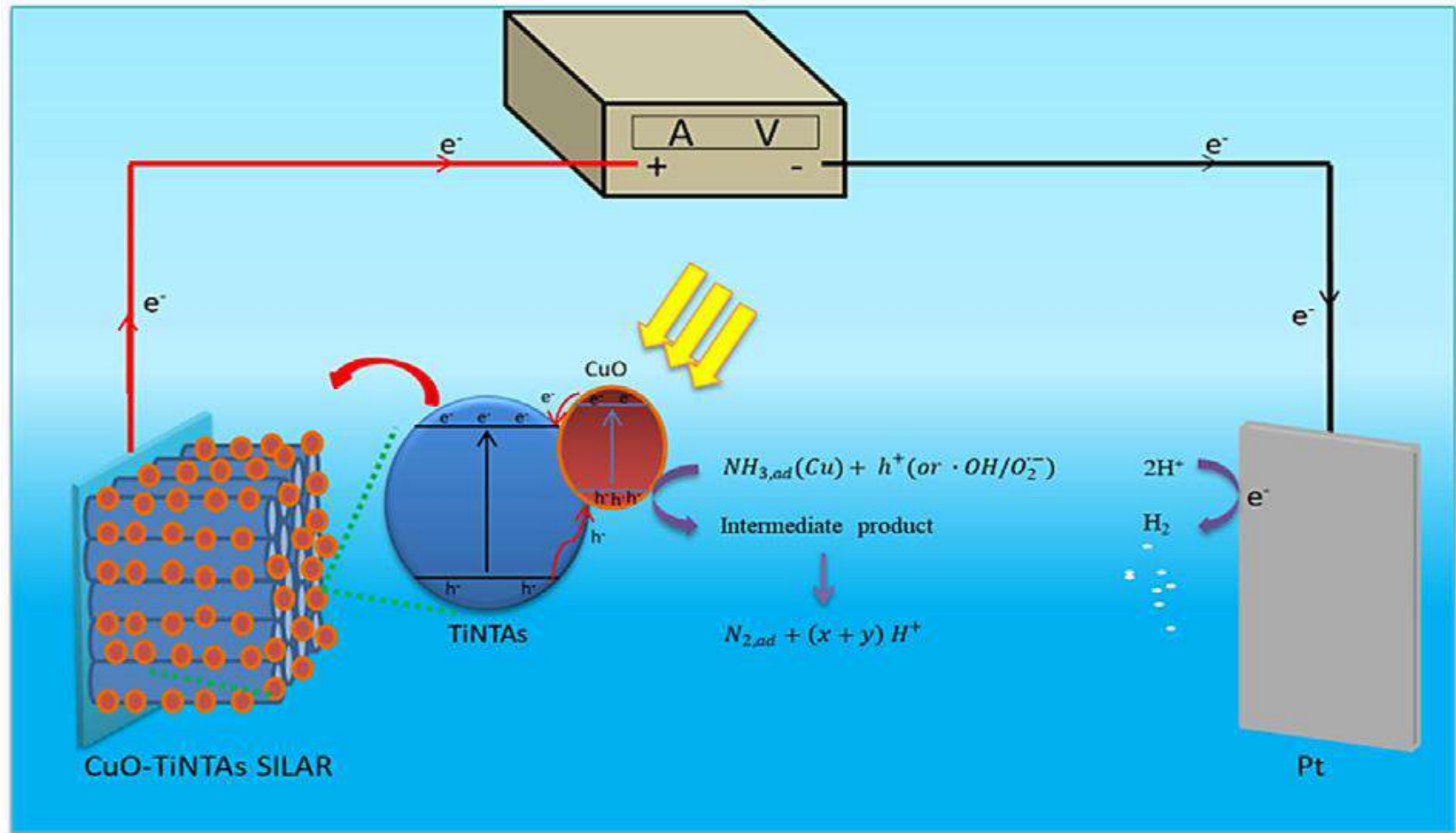


Fig. 1 – Photoelectrocatalytic reactor system.

Kombinasi Fotokatalisis~Elektrolisis

(Katalis: CuO/TiNT, Produksi H₂ & Degradasi NH₃)



Kombinasi Fotokatalisis~Elektrolisis

(Katalis: CuO/TiNT, Produksi H₂ & Degradasi NH₃)

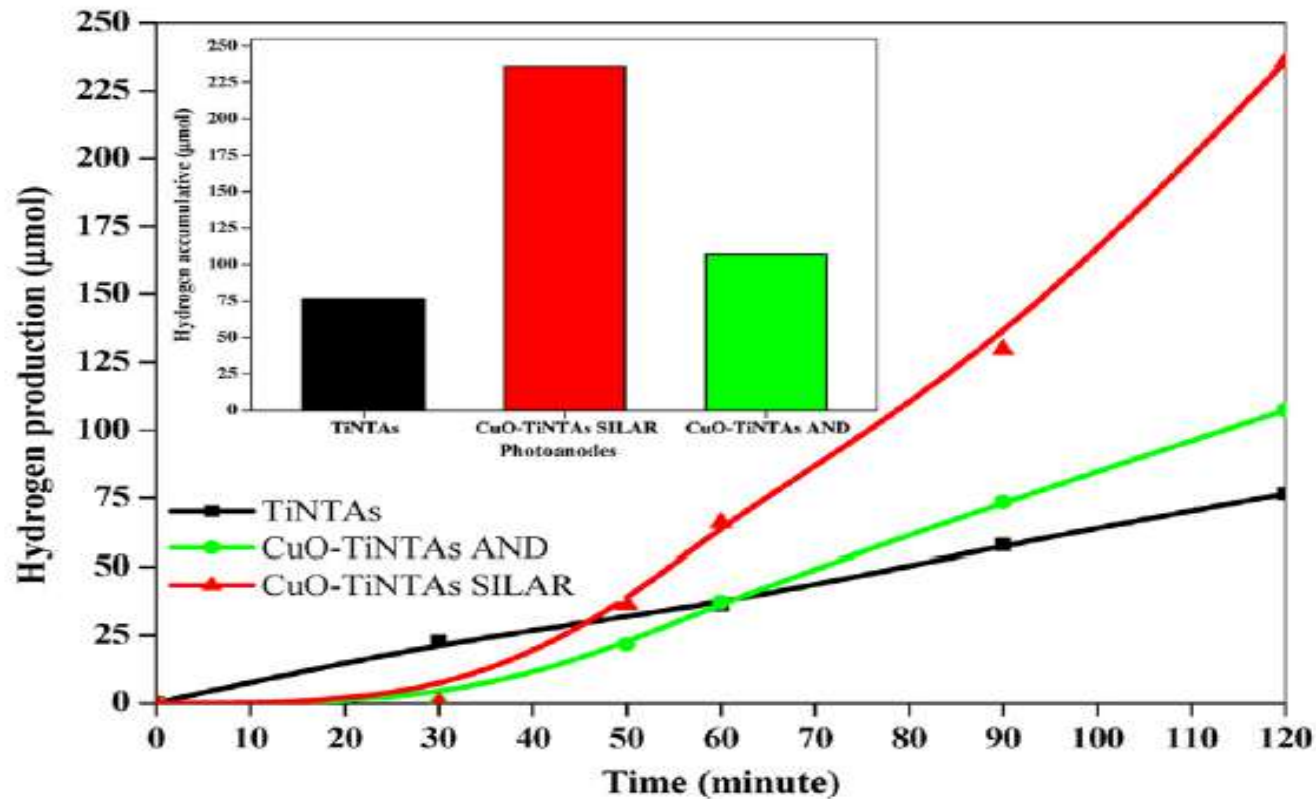
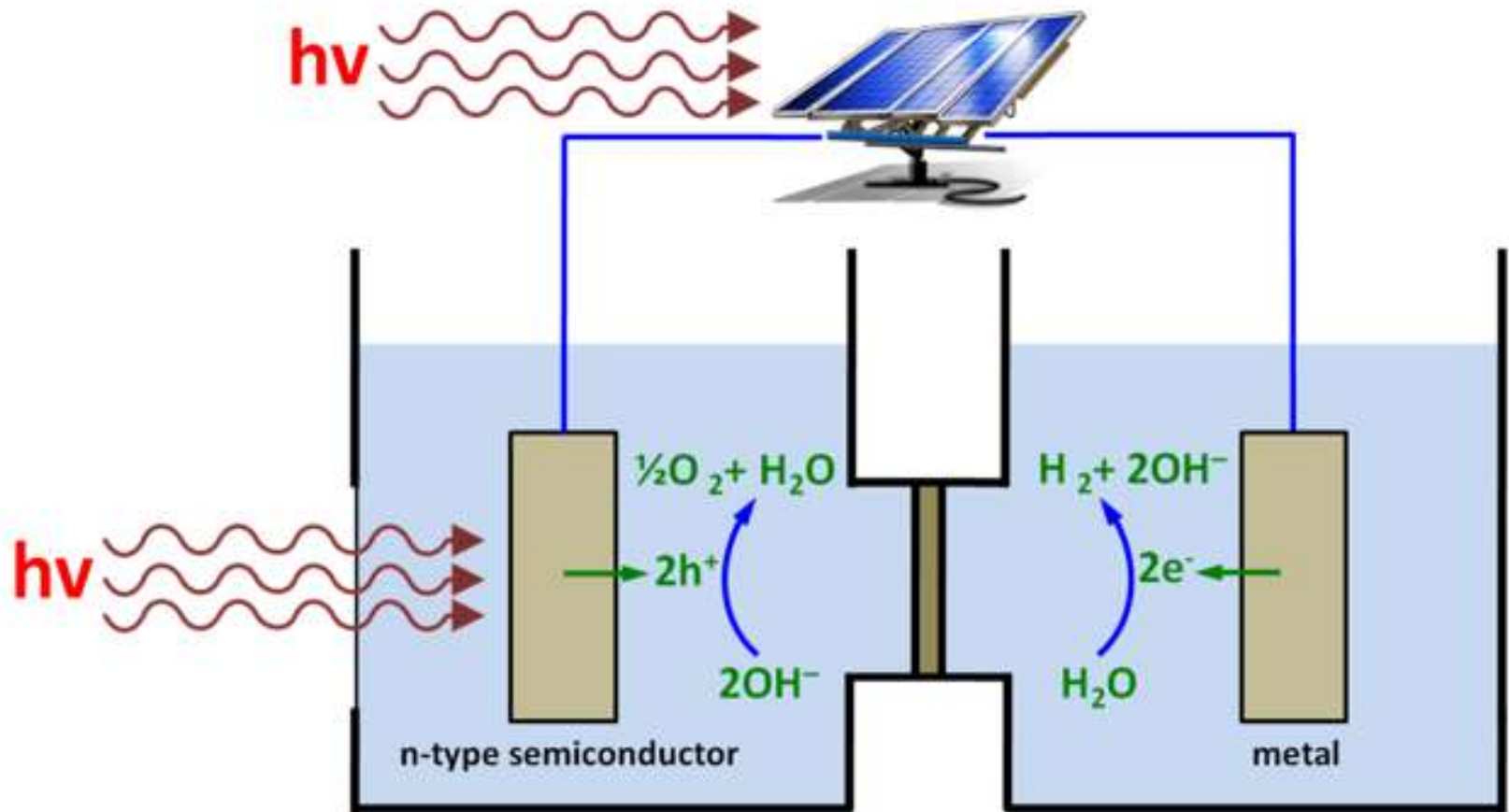


Fig. 12 – Photoelectrocatalytic hydrogen production over various photoanodes.

Kombinasi Fotokatalisis-Elektrolisis-Sel Surya



Gambar 10.11. Ilustrasi skematik sistem sel hibrid

Kombinasi Fotokatalisis~Elektrokoagulasi

(Katalis: Fe/TiNT, Produksi H₂ & Degradasi CIP)

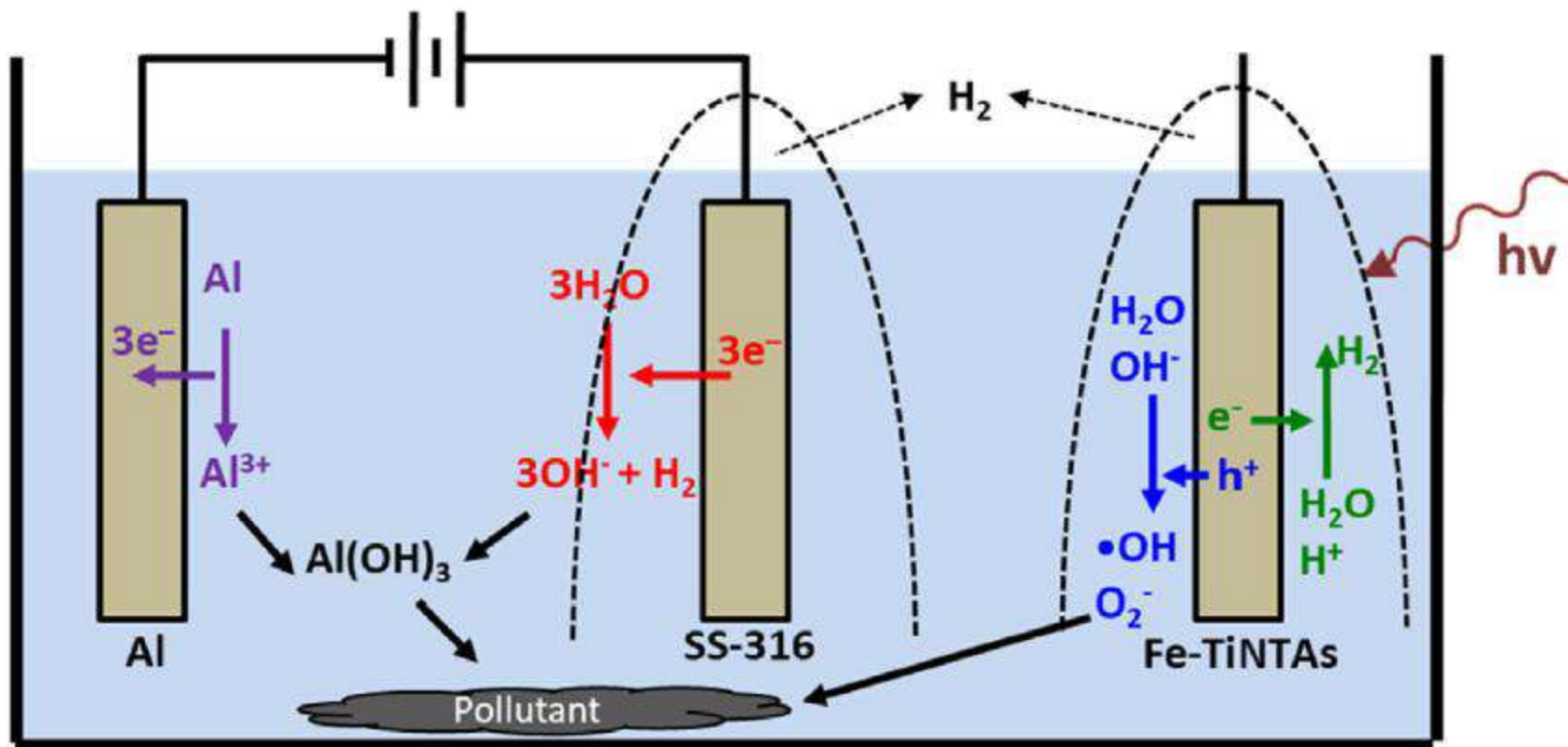
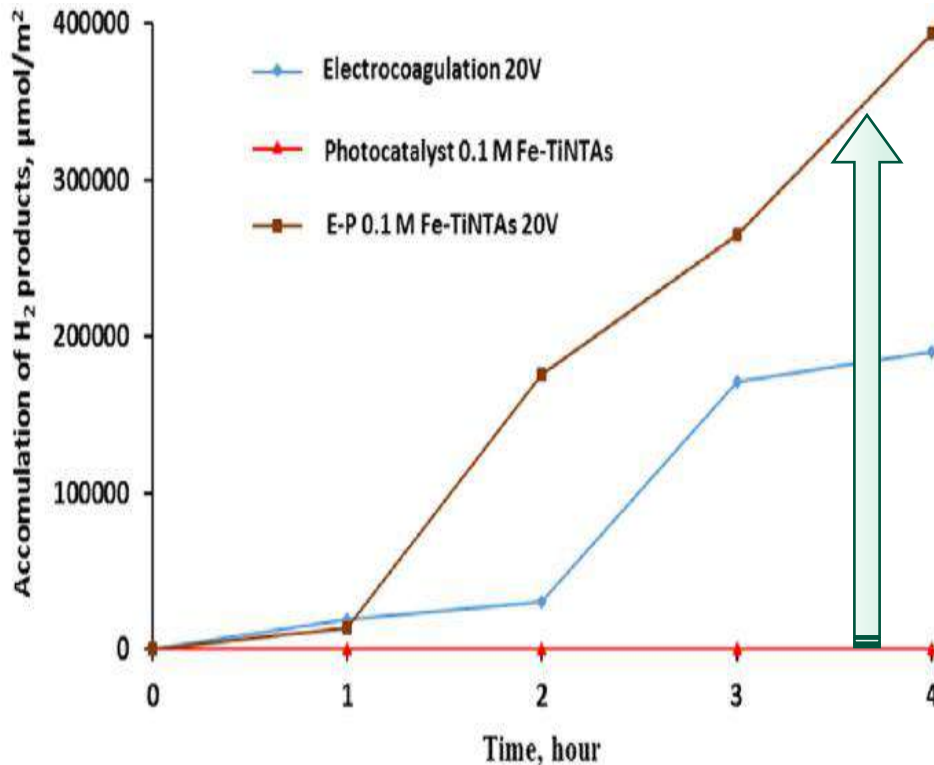


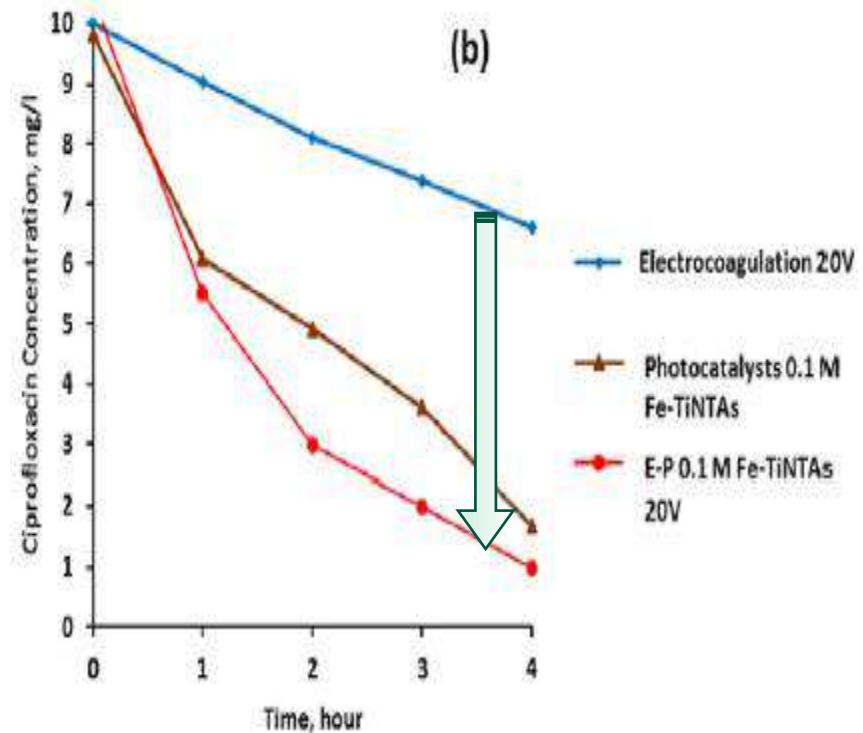
Fig. 11 – Illustration of the combination electrocoagulation and photocatalysis.

Kombinasi Fotokatalisis~Elektrokoagulasi

(Katalis:Fe/TiNT, Produksi H₂ & Degradasi CIP)



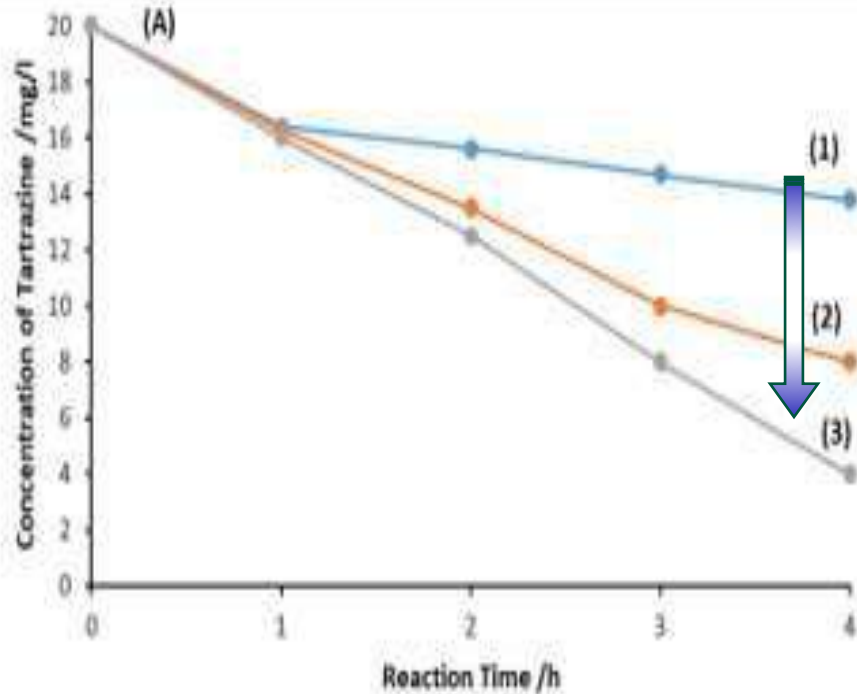
Produksi Hidrogen



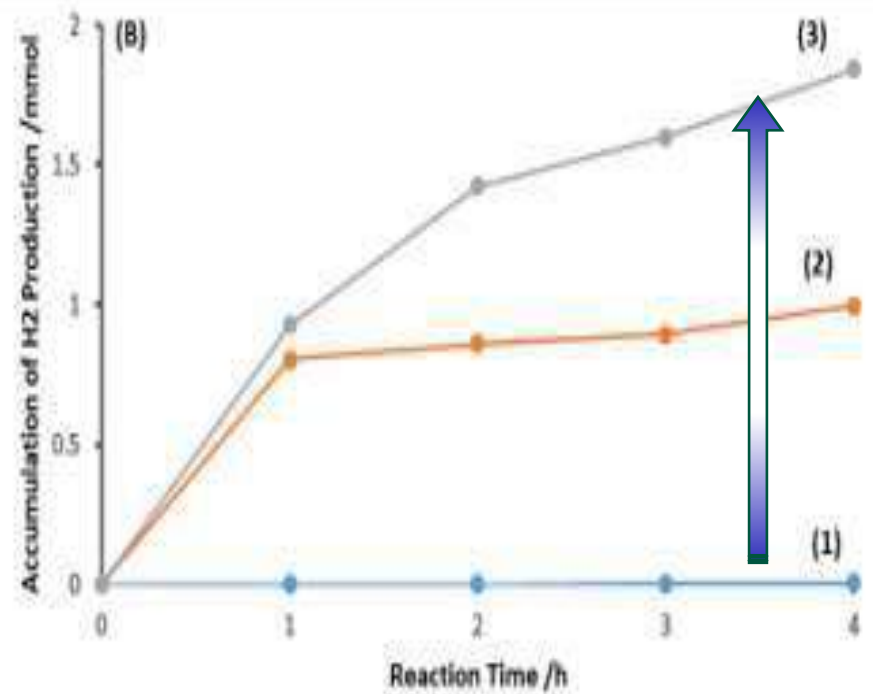
Degradasi CIP

Kombinasi Fotokatalisis~Elektrokoagulasi

(Katalis: CuO/TiNT, Produksi H₂ & Degradasi Tartrazin)

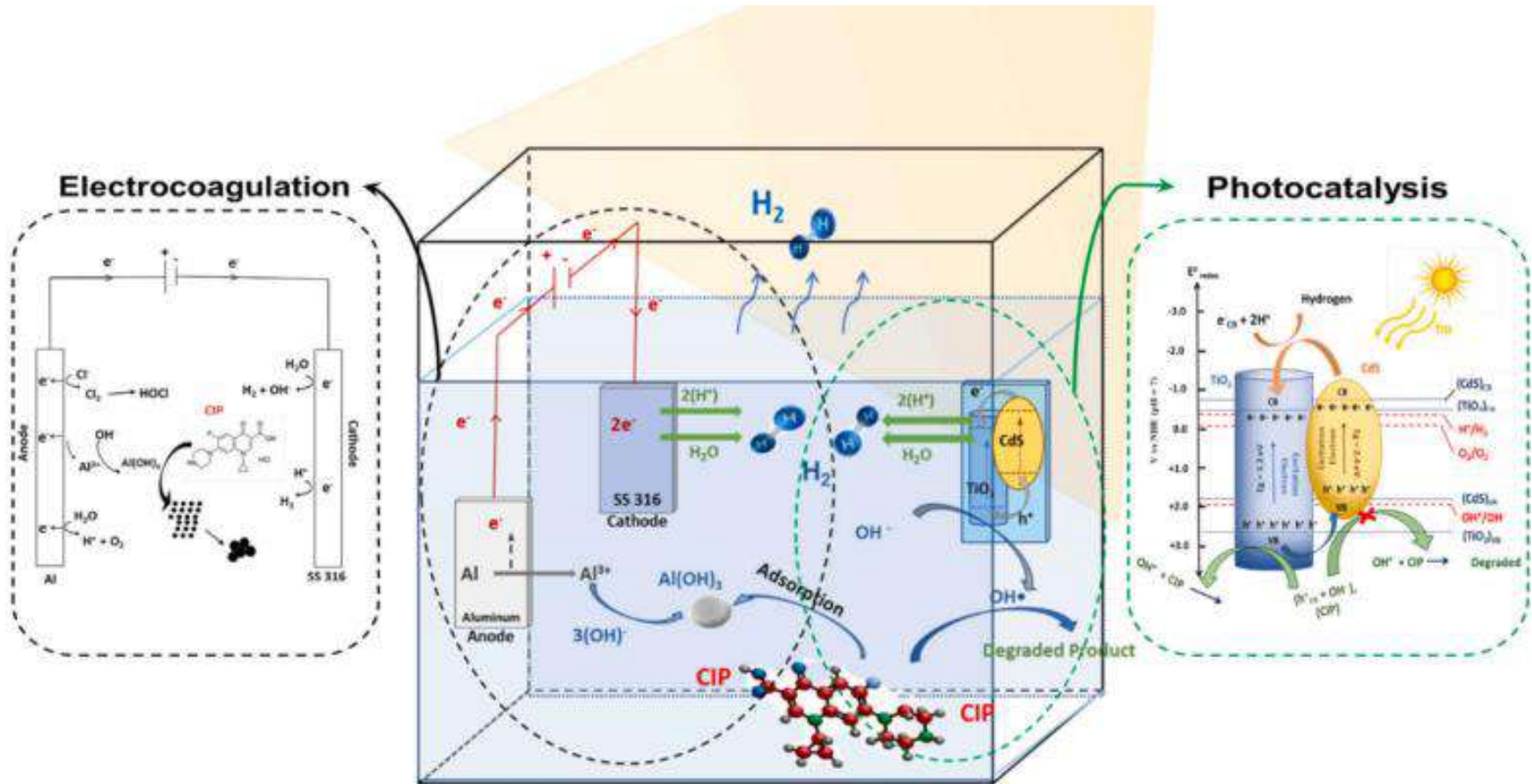


Degradasi Tartrazin



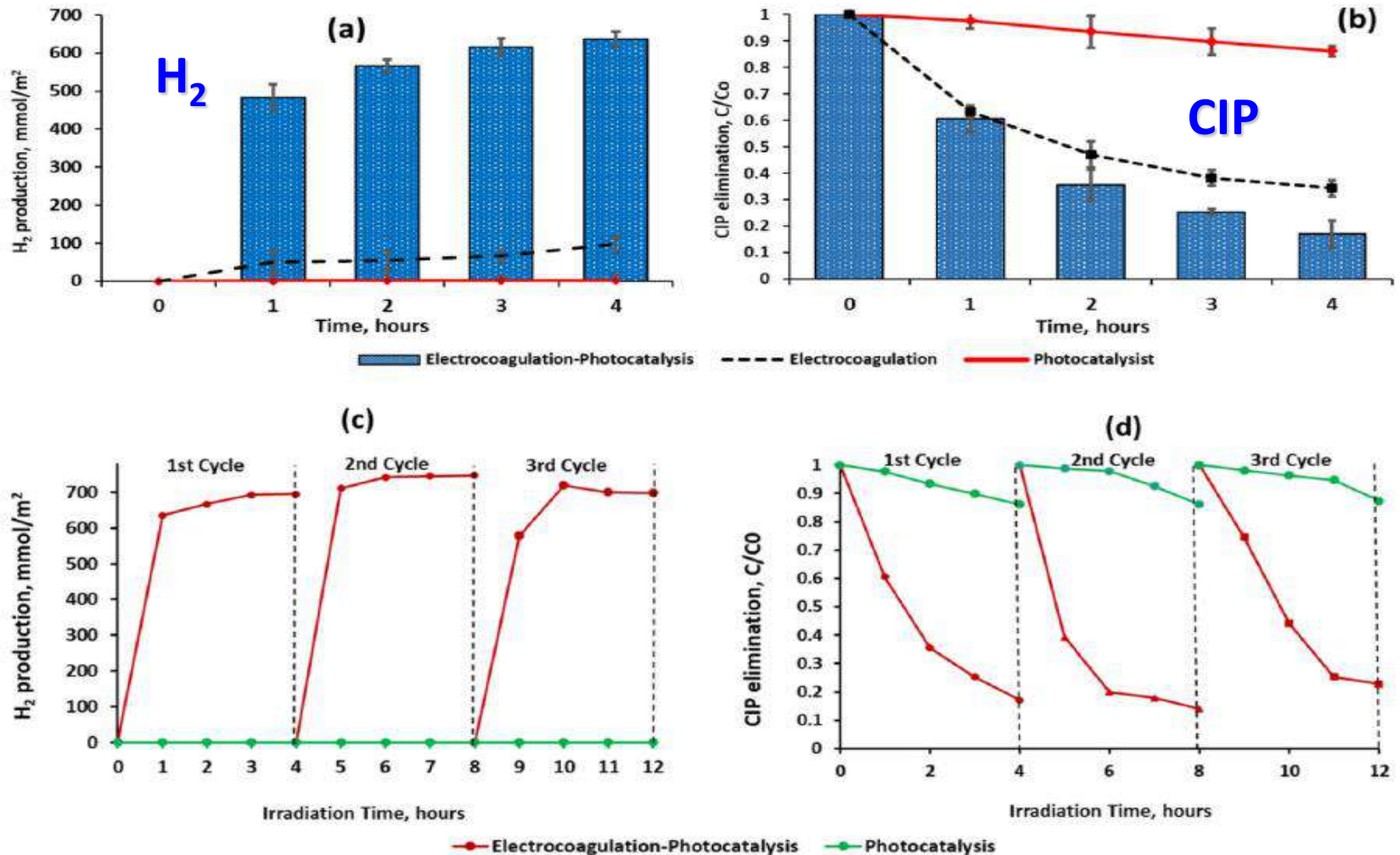
Produksi H₂

Kombinasi Fotokatalisis-Elektrokoagulasi (Komposit CdS/TiO_2 pd degradasi CIP & Produksi H_2)



Kombinasi Fotokatalisis-Elektrokoagulasi

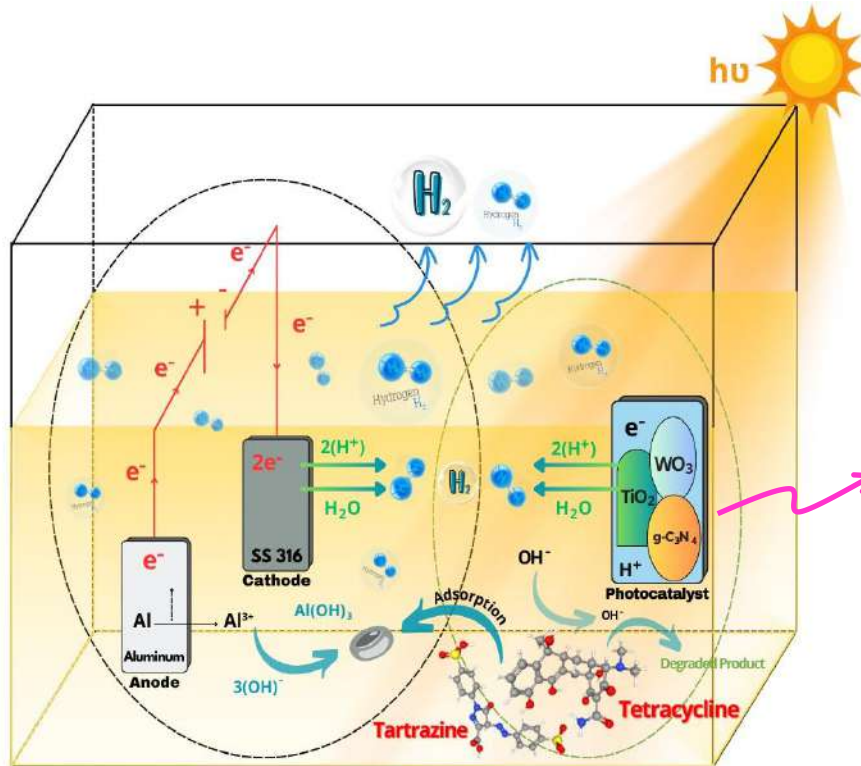
(Komposit CdS/TiO_2 pd degradasi CIP & Produksi H_2)



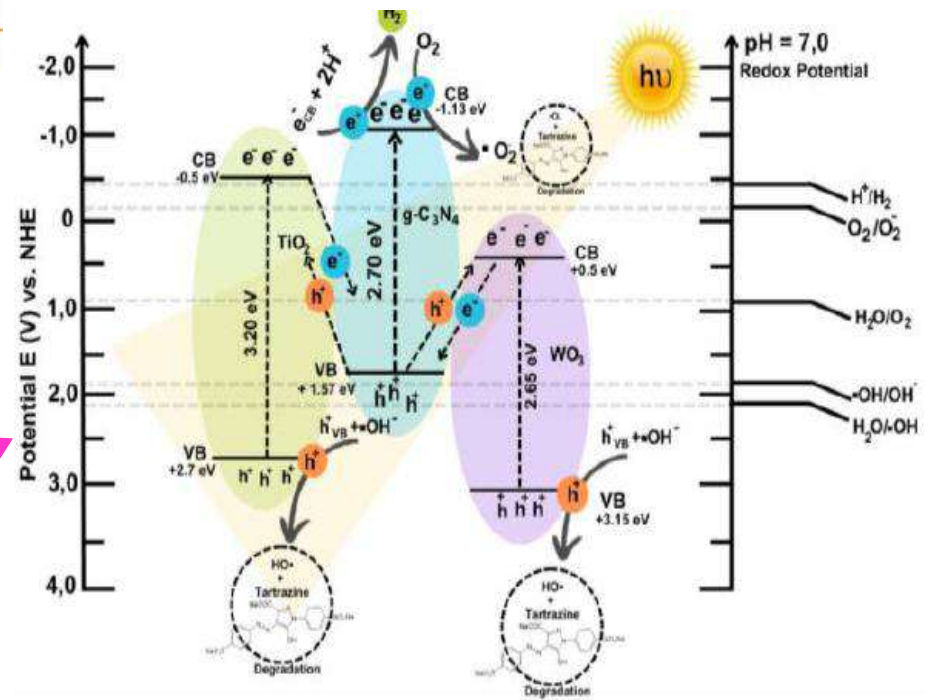
(Materials Science for Energy Technologies, Vol. 8, 2025, pp. 121-130)

Kombinasi Fotokatalisis-Elektrokoagulasi

Komposit-terner $\text{WO}_3/\text{g-C}_3\text{N}_4/\text{TiO}_2$



Hybrid REACTOR

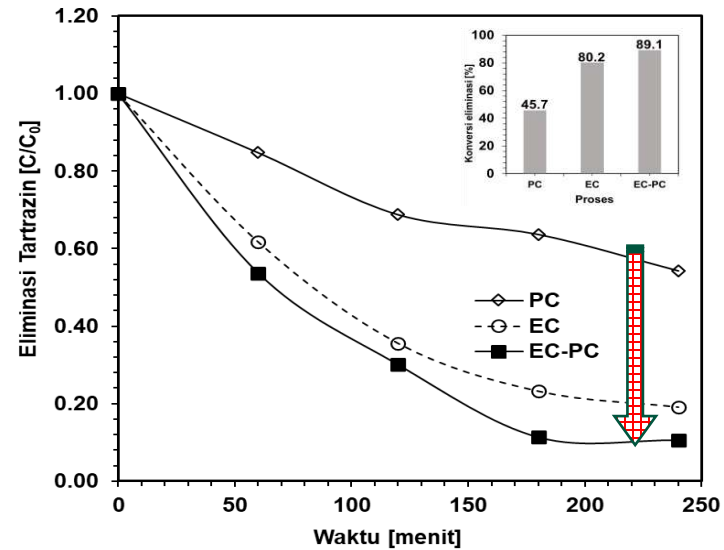
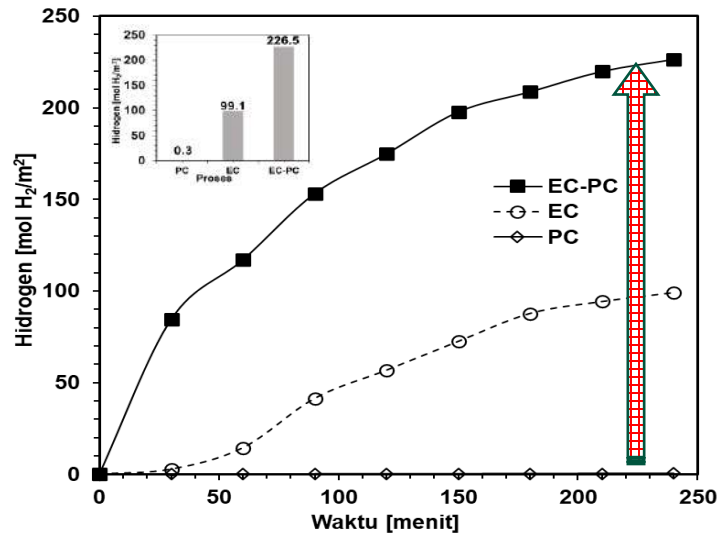


Heterojunction Dual Z-Scheme

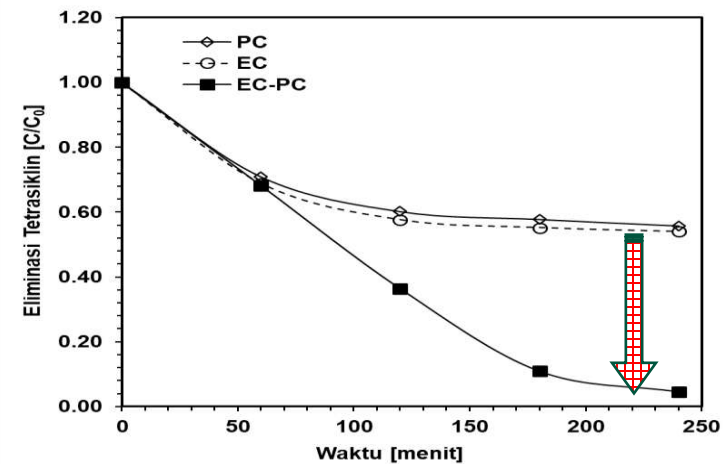
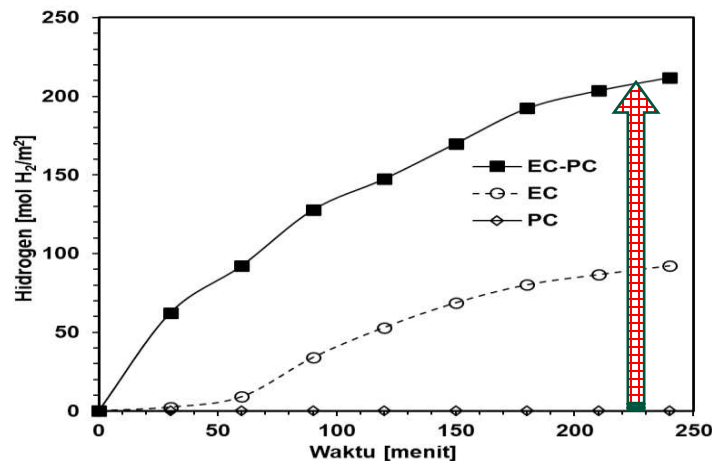
Kombinasi Fotokatalisis-Elektrokoagulasi

Komposit-terner $\text{WO}_3/\text{g-C}_3\text{N}_4/\text{TiO}_2$

H_2



TZ



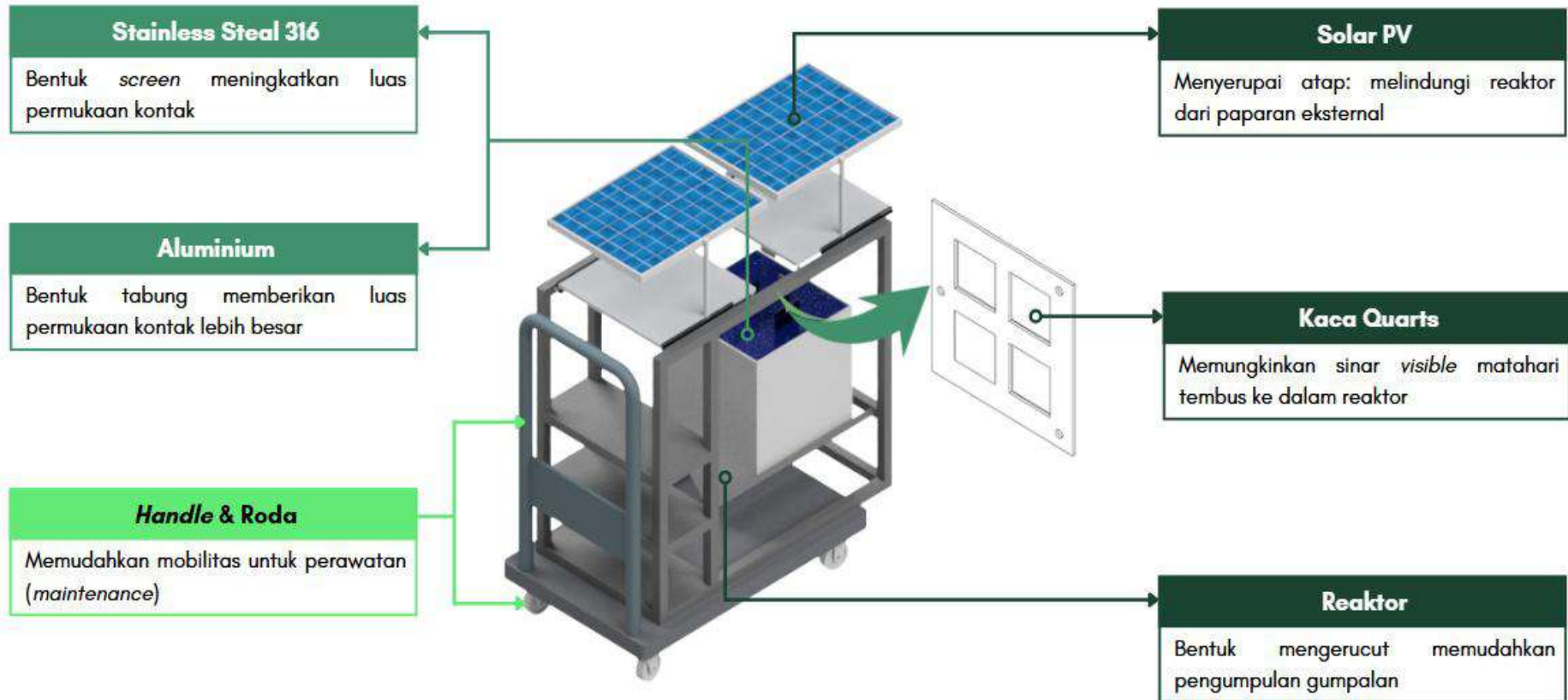
Kombinasi Fotokatalisis-Elektrokoagulasi

(Sumber: Air Laut, Energi Surya)



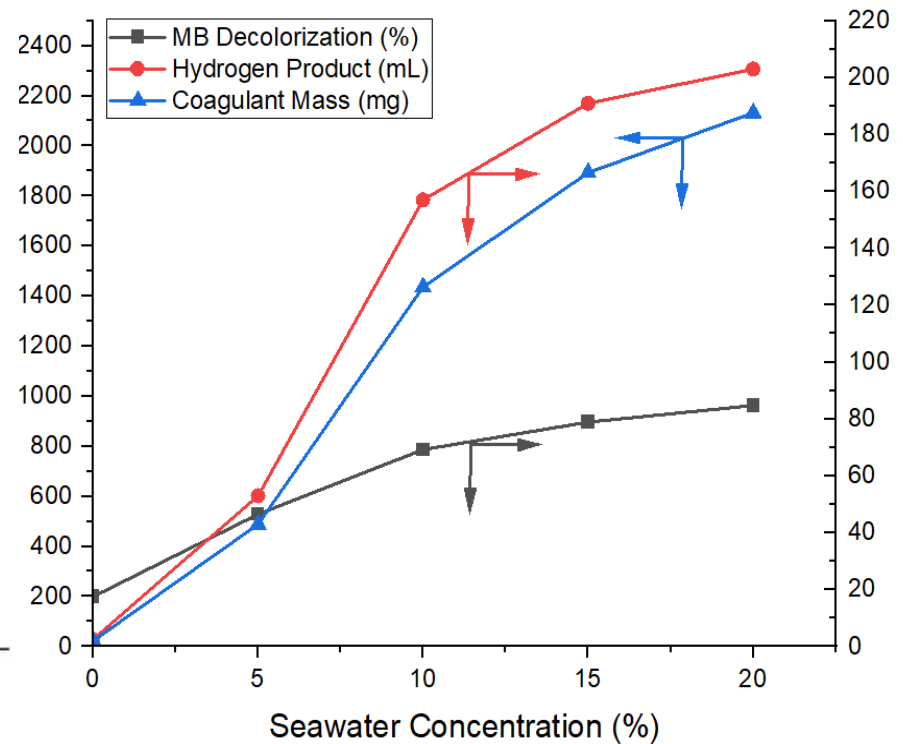
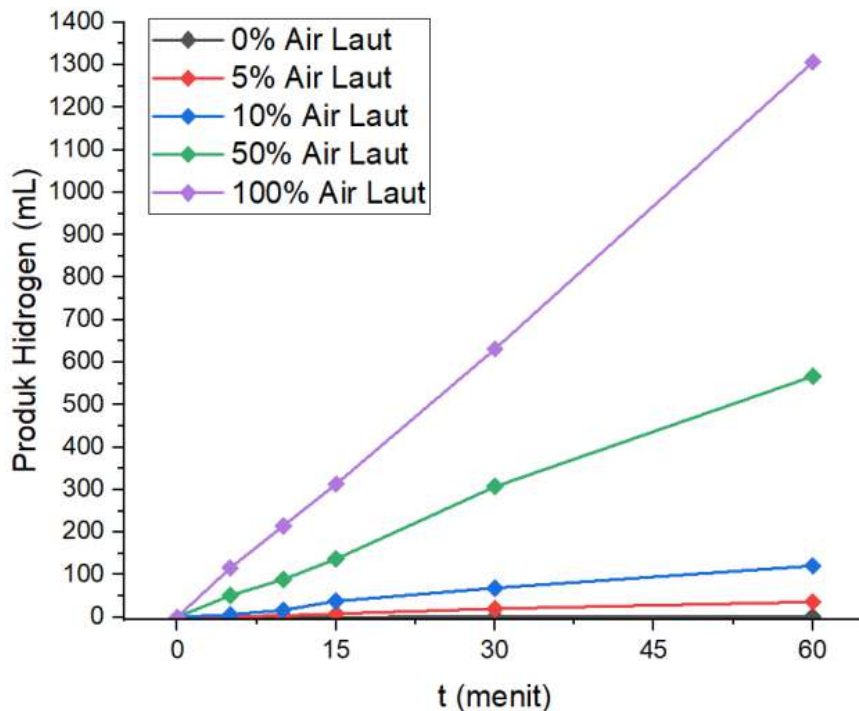
Kombinasi Fotokatalisis-Elektrokoagulasi

(Sumber: Air Laut, Energi Surya)



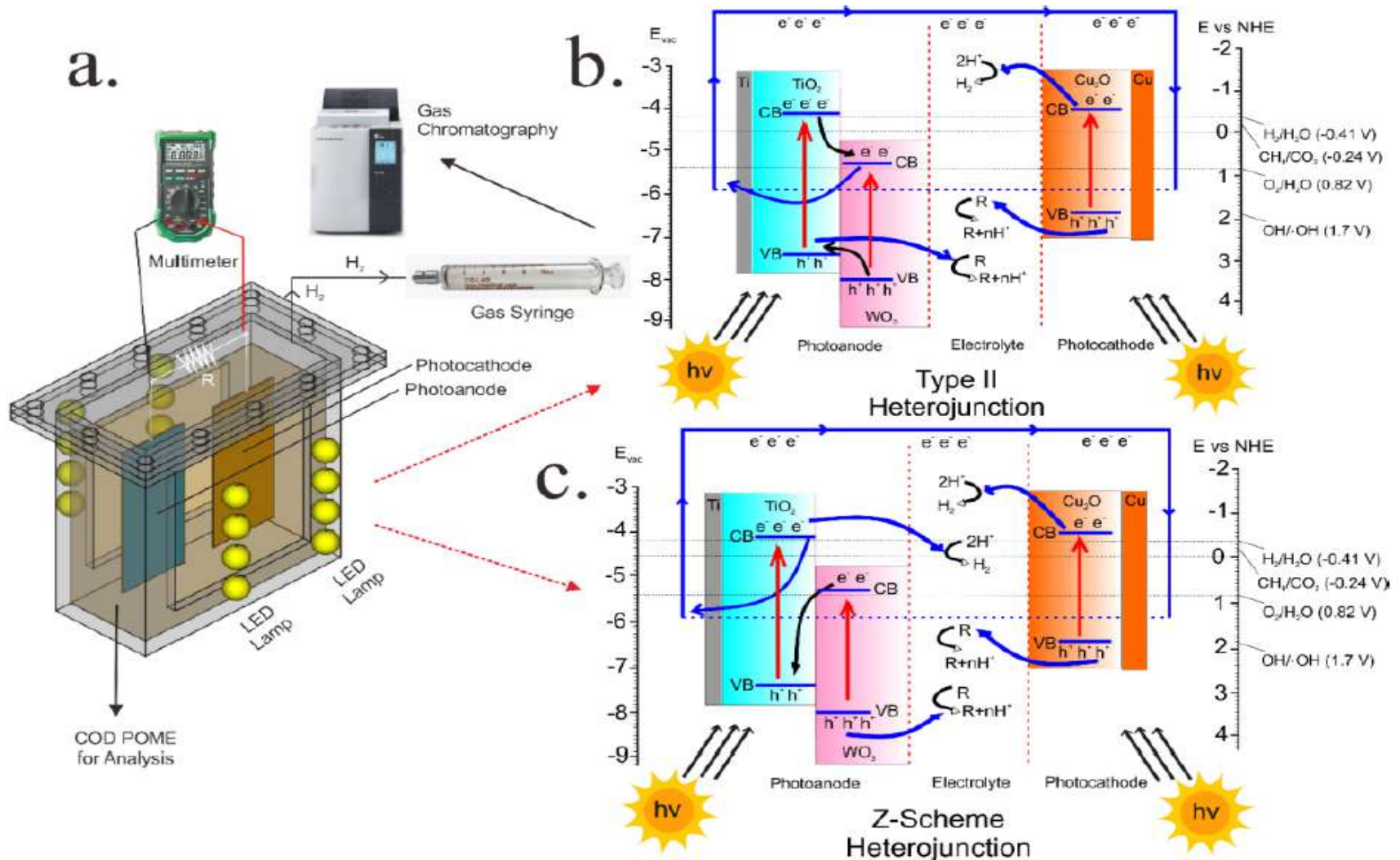
Kombinasi Fotokatalisis-Elektrokoagulasi

(Sumber: Air Laut, Katalis: $\text{g-C}_3\text{N}_4/\text{BiOBr}$)



Sistem Kombinasi Fotokatalisis-Fuel Cell:

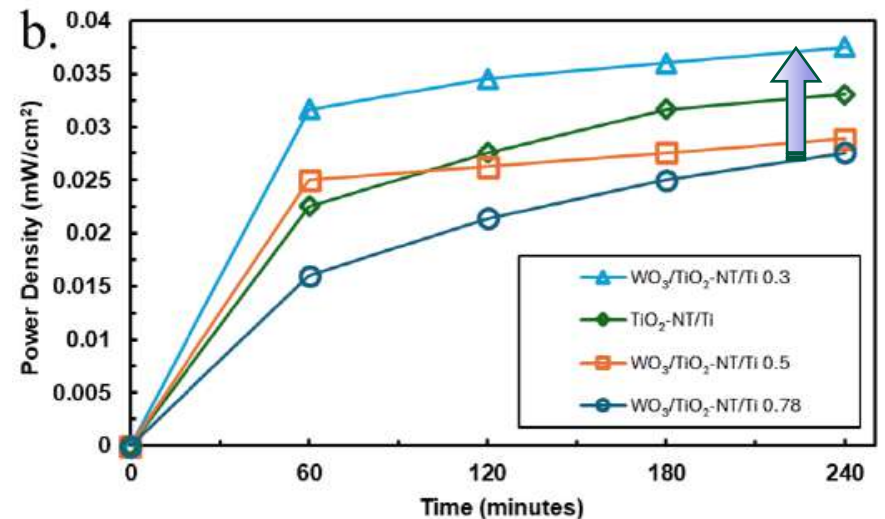
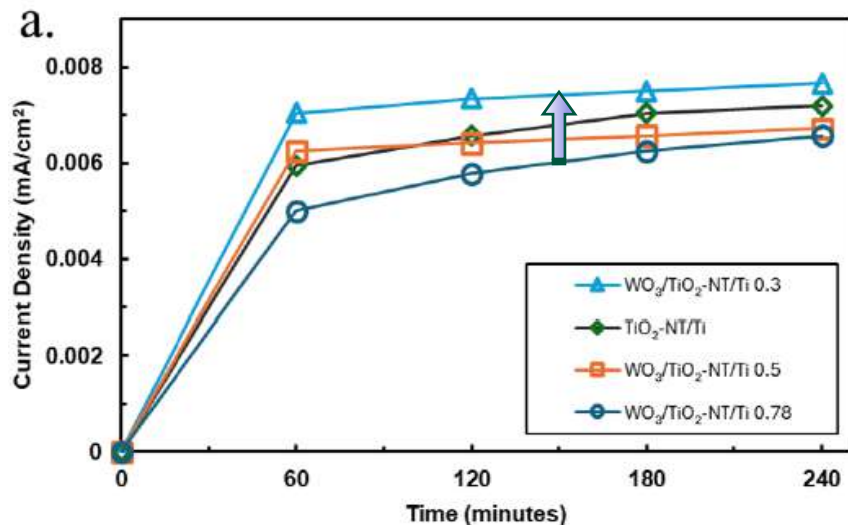
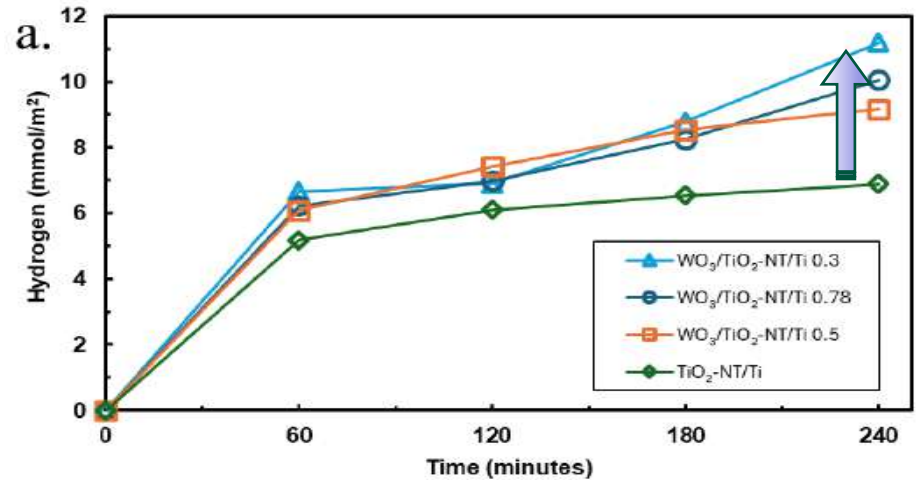
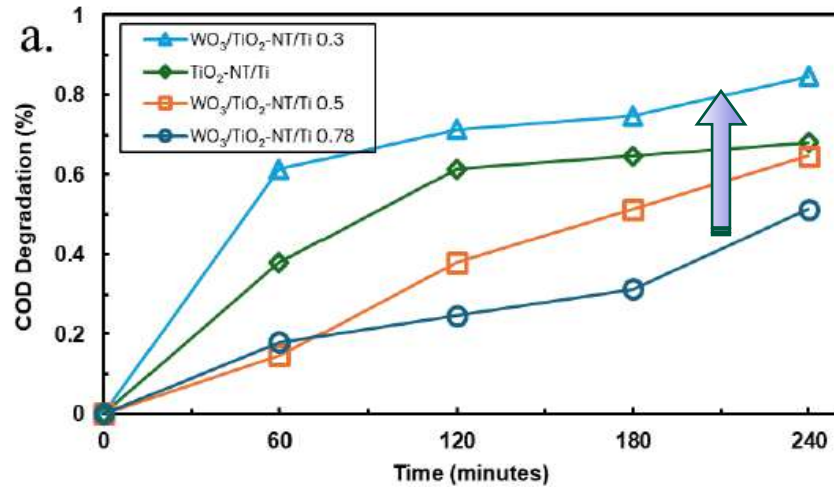
(Komposit WO_3/TiO_2 pd degradasi POME & Produksi H_2)



(Int. J. Renew. Energy Dev. 2025, 15 (3), 420-428)

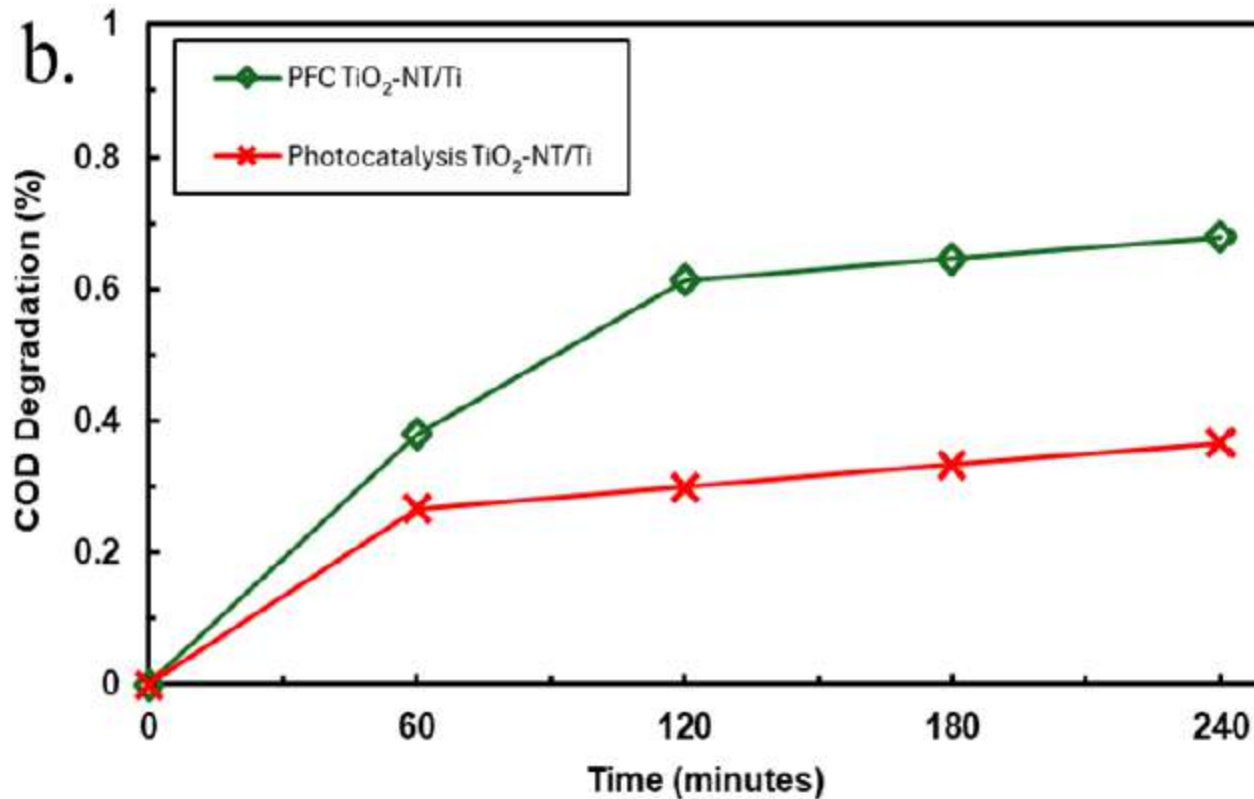
Sistem Kombinasi Fotokatalisis-Fuel Cell:

(Komposit WO_3/TiO_2 pd degradasi POME & Produksi H_2)



(Int. J. Renew. Energy Dev. 2025, 15 (3), 420-428)

Sistem Kombinasi Fotokatalisis-Fuel Cell: (Komposit WO_3/TiO_2 pd degradasi POME & Produksi H_2)



Terima kasih ~ Wassalamualaikum